

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA**

SKRIPSI



**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM
PENGONTROL SUHU DAN MONITORING KELEMBABAN
RUANG OPERASI DENGAN MENERAPKAN I²C BUS
BERBASIS MIKROKONTROLLER AT89C51**

**Disusun Oleh :
Hendrik Kurniawan
NIM 03 17 071**

SEPTEMBER 2007

LEMBAR PERSETUJUAN

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM PENGONTROL SUHU DAN MONITORING KELEMBABAN RUANG OPERASI DENGAN MENERAPKAN I²C BUS BERBASIS MIKROKONTROLLER AT89C51

SKRIPSI

*Disusun dan Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektronika Strata Satu (S-1)*

Disusun Oleh :

HENDRIK KURNIAWAN

NIM : 03 17 071

Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP.Y 1039500274

Joseph Dedy Irawan, ST, MT.
NIP. 132315178

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP.Y 1039500274

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2007



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA S-1

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Nama Mahasiswa : Hendrik Kurniawan
NIM : 03.17.071
Jurusan : Teknik Elektro S1
Konsentrasi : Teknik Elektronika
Judul Skripsi : "Perancangan dan Pembuatan Sistem Pengontrol
Suhu dan Monitoring Kelembaban Ruang Operasi
Dengan Menerapkan PC Bus Berbasis Mikro-
kontroller AT89C51"

Dipertahankan dihadapan team penguji Skripsi jenjang Sarjana (S1) pada :

Hari : Senin
Tanggal : 3 September 2007
Dengan Nilai : 82,3 (A) *Bef*

PANITIA MAJELIS PENGUJI,



PETUA

[Signature]
Ir. Mochtar Asroni, MSME
NIP.Y. 1018100036

SEKRETARIS

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP.Y. 1039500274

ANGGOTA PENGUJI,

PENGUJI I

Ir. Eko Nurcahyo
NIP.Y. 1028700172

PENGUJI II

Sotyonadi, ST. Msc

BAB III

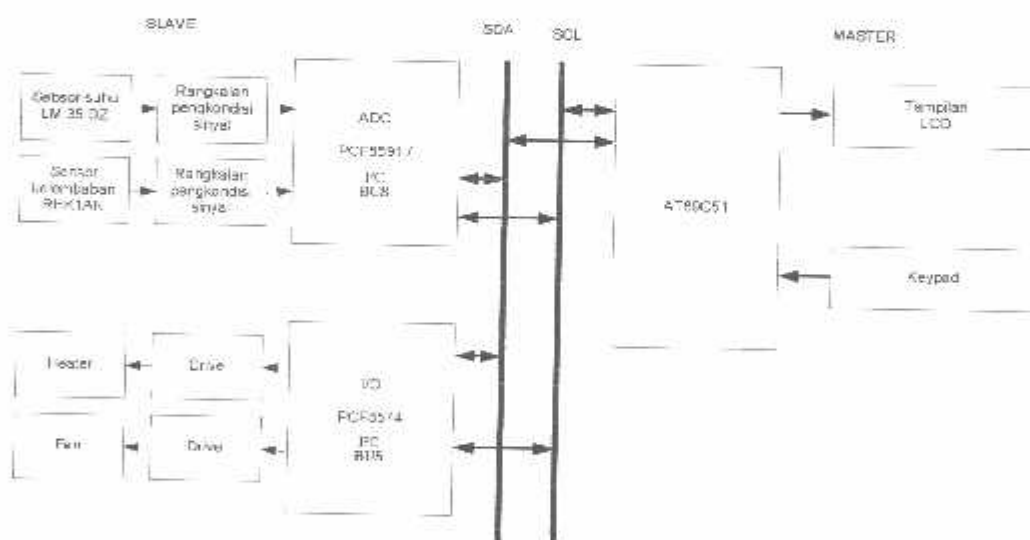
PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT

Bab ini akan membahas tentang perencanaan dan perancangan alat yang meliputi perencanaan perangkat keras (*Hardware*) dan perangkat lunak (*Software*) dari sistem pengontrol suhu dan monitoring kelembaban ruang operasi yang termonitor dengan LCD ini. Perancangan secara keseluruhan dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)
2. Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

3.1. Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Diagram blok sistem sebagai berikut:



Gambar 3.1.

Digram Blok Sistem Secara Keseluruhan

ABSTRAK

Judul : Perencanaan dan Pembuatan Sistem Pengontrol Suhu dan Monitoring Kelembaban Ruang Operasi dengan Menerapkan I²C BUS Berbasis Mikrokontroller AT89C51.

Skripsi, T. Elektro S-1 Konsentrasi Elektronika, FTI ITN Malang

Disusun Oleh : Hendrik Kurniawan, 03 17 071

Dosen Pembimbing I: Ir. F. Yudi Limpraptono, MT.

Dosen Pembimbing II: Joseph Dedy Irawan, ST. MT.

Kata Kunci: Kontrol Suhu, I²C BUS PCF8591 dan PCF8574, AT89C51.

Dengan semakin berkembangnya penggunaan alat-alat elektronika dibidang medis untuk memudahkan aktifitas perawatan. Pengaturan Suhu Ruang Operasi berfungsi untuk menjaga ruangan dalam suhu 29°C - 32°C, yang ada sekarang masih banyak menggunakan campur tangan perawat dalam aktifitas pengaturan suhu, perawat harus ke ruang operasi berada untuk mengecek satu per satu ruangan operasi setiap waktu, dan belum bisa dimonitor secara keseluruhan dari ruangan lain.

Dengan menerapkan I²C BUS berbasis mikrokontroller AT89C51 dirancang suatu sistem yang dapat mengontrol suhu dan memonitoring kelembaban pada ruang operasi yang hasil pengukurannya ditampilkan pada LCD, sedangkan dengan Software Assembly dibuat proses pengontrolan suhu, dan monitoring kelembaban (hasil pengukuran sama dengan tampilan LCD).

Pada alat ini input suhu bisa diset antara 29.0°C – 32.0°C, sedangkan kelembaban sebatas pengukuran/monitoring. Dengan outputan berupa driver AC untuk heater sebagai pemanas dan driver DC untuk fan.

KATA PENGANTAR

Atas Berkat Rahmat Allah Yang Maha Kuasa, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Skripsi dengan judul :

“ PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM PENGONTROL SUHU DAN MONITORING KELEMBABAN RUANG OPERASI DENGAN MENERAPKAN PC BUS BERBASIS MIKROKONTROLLER AT89C51 ”

Pembuatan Skripsi ini disusun guna memenuhi syarat akhir kelulusan pendidikan jenjang Strata-1 di Institut Teknologi Nasional Malang. Laporan Skripsi ini merupakan tanggung jawab tertulis atas ilmu pengetahuan yang didapat selama penyusun mengikuti kuliah.

Atas terselesaikannya Skripsi ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSME selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang
3. Bapak Ir. F.Yudi Limpraptono, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S1 Konsentrasi Teknik Elektronika.
4. Bapak Ir. F.Yudi Limpraptono, MT selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, serta ilmu-ilmu yang sangat berharga sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

5. Bapak Joseph Dedy Irawan, ST, MT selaku Dosen Pembimbing II yang juga telah memberikan bimbingan, pengarahan, serta ilmu-ilmu yang sangat berharga sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
6. Bapak Ir.Eko Nurcahyo selaku Dosen Penguji I.
7. Bapak Sotyohadi,ST.MT selaku Dosen Penguji II.
8. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nahkoda, MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro S1 Konsentrasi Teknik Elektronika.
9. Ibu Yuliana Ainun selaku mamahku terkasih yang telah memberikan dukungan baik moril maupun spritual serta semua yang telah dilakukan buat putra tercinta yang tidak bisa digantikan oleh apapun.
10. Teman-teman Elektro atas kerjasamanya.
11. Semua pihak yang membantu dalam penyelesaian penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih banyak yang perlu disempurnakan. Oleh sebab itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan.

Akhir kata, penulis mohan maaf kepada semua pihak bilamana selama penyusunan skripsi ini penyusun membuat kesalahan secara tidak sengaja dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang,September 2007

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

LEMBAR PERSETUJUAN

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GRAFIK	x

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Metodologi	3
1.6. Sistematika Penulisan	4

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Inter Integrated Circuit Bus (I ² C)	5
2.1.1. Konsep I ² C	5
2.1.2. Fitur Utama I ² C	7
2.1.3. Keuntungan I ² C	8
2.1.4. Rangkaian I ² C PCF8591 8-bit ADC	9
2.1.5. Rangkaian I ² C PCF8574 8-bit I/O Expan.	10
2.1.6. Cara Kerja I ² C bus (Format 7bit address)	11
2.1.7. Kesimpulan	17
2.2. Mikrokontroler AT89C51	18

2.2.1.	Arsitektur AT89C51	19
2.2.2	Fungsi Pin Mikrokontroler AT89C51	21
2.2.3.	Siklus Mesin	24
2.2.4.	Organisasi Memori	25
2.2.5.	Timer dan Counter	26
2.2.6.	SFR (Special Function Generator)	29
2.2.7.	Program Status Word (PSW)	30
2.2.8.	Power Register Control (PCON)	30
2.2.9.	Sistem Interupsi	31
2.2.10.	Metode Pengalamatan	32
2.3.	Sensor	33
2.3.1.	Sensor Suhu	33
2.3.2.	Sensor Kelembaban	35
2.4.	Penguat Instrumentasi	37
2.4.1.	Inverting Amplifier	37
2.4.2.	Non Inverting Amplifier	38
2.4.3.	Differensial Amplifier	39
2.5.	Relay	39
2.6.	Dot Matrix LCD (Liquid Crystal Display)	41
2.6.1.	Sinyal Interface M1632	45
2.7.	Keypad 4x4	47

BAB III PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1.	Perencanaan Hardware	48
3.1.1.	Perancangan I ² C Bus PCF8591 8-bit ADC	51
3.1.2.	Perancangan I ² C Bus PCF8574 8-bit I/O	57
3.1.3.	Perancangan Penggunaan Port pada Mikrokontroler AT89C51	60
3.1.3.1.	Rangkaian Clock	61
3.1.4.	Sensor	62
3.1.4.1.	Sensor Suhu	62

3.1.4.2.	Sensor Kelembaban	.....	64
3.1.5.	LCD (liquid Cristal Display)	.....	67
3.1.6.	Rangkaian Driver Heater	.....	68
3.1.7.	Rangkaian Driver Fan	.....	70
3.2.	Perencanaan Software	.....	73
3.2.1.	Flowchart Program Utama	.....	74
BAB IV	PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT		
4.1.	Pengujian Rangkaian Sensor Suhu	.....	75
4.1.1	Pengujian Rangkaian Sensor LM35	.....	75
4.1.2.	Peng. Rangk. Pengkondisi Sinyal LM35		82
4.2.	Pengujian Rangkaian Sensor Kelembaban	.....	88
4.2.1.	Pengujian Rangk. Pcmbangkit Tcg. AC		88
4.2.2.	Pengujian Rangk. Sensor RHK1AN	.....	91
4.2.3.	Pengujian Pengkon. Sinyal RHK1AN		94
4.3.	Pengujian Driver Heater / Relay 1	.....	97
4.4.	Pengujian Driver Fan	.....	99
BAB V	KESIMPULAN		
5.1.	Kesimpulan	.....	103
5.2.	Saran	.....	104

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

2.1.Contoh Sistem dengan I ² C bus	7
2.2.Koneksi I ² C bus	8
2.3.Pin/Kaki Dari I ² C PCF8591 8-bit ADC	10
2.4.Pin/Kaki Dari I ² C PCF8574 8-bit I/O <i>Expander</i>	11
2.5.Format <i>address byte</i>	13
2.6. Transfer data lengkap I ² C bus Master-transmitter slave-receiver	13
2.7.Master-receiver membaca data dari slave-transmitter yang teralamat	13
2.8. <i>Clok Synchronization</i>	14
2.9. Blok Diagram AT89C51	20
2.10. Pin/kaki dari IC AT89C51	21
2.11. Osilator Eksternal AT89C51	23
2.12. Diagram waktu pelaksanaan instruksi MCS 51	25
2.13.Tampak Bawah LM35	35
2.14.Tampak Samping RHK1AN	37
2.15.Penguat <i>Inverting Amplifier</i>	37
2.16.Penguat <i>Non Inverting Amplifier</i>	38
2.17.Penguat <i>Differensial Amplifier</i>	39
2.18. Cara Kerja <i>Relay</i>	40
2.19 <i>Relay</i> SPST	40
2.20 <i>Relay</i> SPDT	40
2.21 <i>Relay</i> DPST	41
2.22 <i>Relay</i> DPDT	41
2.23. Modul LCD 2 ×16 karakter	42
2.24. Mengirim/Mengambil Data Ke/Dari M1632	46
3.1. Digram Blok Sistem Secara Keseluruhan	48
3.2.Miniatur Box Ruang Operasi	51
3.3.I ² C BUS PCF8591 8-bit ADC dengan LM35 dan RHK1AN	53
3.4.Rangkaian I ² C MODUL PCF8591 8-bit ADC	55
3.5.Tata Letak I ² C MODUL PCF8591 8-bit ADC	55
3.6.Diagram Blok I ² C MODUL PCF8591 8-bit ADC	56
3.7.Cara Kerja <i>Relay</i>	57
3.8.I ² C BUS PCF8574 8-bit I/O <i>Expander</i> dengan <i>Relay</i> 1 dan <i>Relay</i> 2	57

3.9.Minimum Sistem AT89C51	59
3.10.Rangkaian Clock AT89C51	60
3.11.Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor Suhu	62
3.12.Rangkaian Pembangkit Tegangan AC	65
3.13.Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor Kelembaban	66
3.14.Rangkaian LCD	67
3.15.Rangkaian Driver Pemanas	68
3.16.Rangkaian Driver <i>Fan</i>	70
4.1.Rangkaian Pengujian Sensor Suhu	76
4.2.Perbandingan Termometer dan Voltmeter Digital (DT-930T)	78
4.3.Tampilan Suhu Pada Termometer	79
4.4.Tampilan Suhu Pada LCD	80
4.5.Rangkaian Pengujian Pengkondisi Sinyal	83
4.6.Multimeter Digital DT903T dan M300	85
4.7.Rangkaian Pengujian Pembangkit Tegangan AC	89
4.8.Sinyal Output Pembangkit Tegangan AC	90
4.9.Rangkaian Sensor Kelembaban RHK1AN	91
4.10.Rangkaian Pengujian Sensor Kelembaban	94
4.11.Rangkaian Pengujian <i>Driver DC Heater</i>	97
4.12.Rangkaian Pengujian <i>Driver DC Fan</i>	100

DAFTAR TABEL

2.1. Keluarga Mikrokontoller MCS- 51	18
2.2. Fungsi Alternarif Port 3	22
2.3. Keterangan <i>Register</i> TCON	27
2.4. Kombinasi M0 dan M1 pada <i>register</i> TMOD	28
2.5. <i>Special Function Register</i> (SFR)	29
2.6. <i>Program Status Word</i> (PSW)	30
2.7. <i>Power Control Register</i> (PCON)	30
2.8. Karakteristik Kelembaban pada <i>Temperatur</i>	36
2.9. Pemilihan <i>Register</i> Pada LCD M1632	42
2.10 Fungsi Pin – Pin LCD	43
3.1.Address I ² C MODUL PCF8591 8-bit ADC	52
3.2.Address I ² C PCF8591 I/O Expander	58
4.1.Perbandingan Tegangan Output Hasil Perhitungan Suhu dari LM35 dengan Pengukuran Thermometer	77
4.2.Perbandingan antara Pengukuran Suhu menggunakan Termometer Dibandingkan dengan Pengukuran Suhu Menggunakan Sensor LM 35	79
4.3.Persen Kesalahan (% Error) Tegangan Output Lm 35 antara Hasil Pengukuran dengan Hasil Perhitungan	82
4.4.Hasil Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor Suhu	85
4.5.Persentase Kesalahan (Error) Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor Suhu	87
4.6.Perbandingan Tampilan Suhu pada LCD dan Termometer	88
4.7.Perbandingan Tegangan Output Perhitungan dengan Pengukuran Sensor Kelembaban RHK1AN	93
4.8.Perbandingan Tegangan Output Hasil Perhitungan Pengukuran Pengkondisi Sinyal Sensor Kelembaban	96
4.9.Persentase Kesalahan (<i>Error</i>) Pengujian	96
4.10.Tabel Hasil Pengukuran dan Perhitungan <i>Driver Relay</i> 1	99
4.11.Tabel Hasil Pengukuran dan Perhitungan <i>Driver Fan</i>	102

DAFTAR GRAFIK

4.1. Karakteristik Perbedaan Pengukuran Suhu Thermometer dan Suhu LM 35	80
---	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sebagai salah satu ruangan penting di rumah sakit umum, ruang operasi memegang peranan cukup besar dalam peningkatan pelayanan dan penanganan yang terbaik untuk semua pasien di rumah sakit. Selain itu suhu dan kelembaban ruang operasi menentukan kondisi udara didalam ruang tersebut. Dan banyak hal juga yang sangat bergantung pada kondisi suhu dan kelembaban pada ruangan tersebut. Termasuk keselamatan jiwa pasienpun tergantung pada kondisi suhu dan kelembaban ruang operasi yang ditempatinya untuk operasi. Dan aplikasi ini berfungsi untuk mendeteksi suhu dan kelembaban pada ruang tersebut.

Dalam tujuannya untuk meningkatkan pelayanan dan penanganan yang terbaik untuk semua pasien di rumah sakit maka membutuhkan suatu perhatian dan penanganan yang khusus. Seperti halnya media tempat operasi bagi pasien yang membutuhkan penanganan lanjut, antara lain dengan (standart) suhu, kelembaban ruangan dan sebagainya yang nantinya tujuan tersebut dapat dilaksanakan.

Pengaturan suhu dan kelembaban ruangan operasi pada pasien rumah sakit umum memiliki peranan yang cukup penting. Jika pengaturan standart ruangan tidak diperhatikan secara serius maka akan merugikan pasien rumah sakit itu sendiri karena penanganan dan pelayanan pasien yang kurang optimal bahkan dapat membahayakan jiwa dari pasien tersebut.

Untuk itu dibutuhkan suatu alat yang dapat mengatur suhu dan kelembaban ruangan dengan menggunakan aplikasi teknologi sederhana yaitu dengan mendeteksi suhu dan kelembaban ruangan dengan menggunakan sebuah sensor yang terdiri dari 2 buah elektroda yang memanfaatkan (standart) suhu dan temperatur ruangan. Suhu ruangan diukur dengan menggunakan sensor suhu. Dan untuk kelembaban ruangan diukur dengan menggunakan sensor Kelembaban. Yang selanjutnya kondisi ruangan dalam ruang operasi ditampilkan dalam *Liquid Crystal Display* (LCD).

1.2. Rumusan Masalah

Dengan memperhatikan latar belakang dari usulan skripsi ini didapatkan rumusan masalah sebagai berikut :

Bagaimana merancang dan membuat Sistem Pengontrol Suhu dan Monitoring Kelembaban pada Ruang Operasi.

Dari permasalahan tersebut diperoleh judul skripsi:

“ Perancangan dan Pembuatan Sistem Pengontrol Suhu Dan Monitoring Kelembaban Ruang Operasi Dengan Menerapkan I²C Bus Berbasis Mikrokontroller AT89C51 ”

1.3. Tujuan

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk merancang dan membuat suatu sistem simulasi alat yang dapat mengontrol suhu dan memonitoring kelembaban ruangan pada ruang operasi yang berupa suhu dan kelembaban udara yang ada dalam ruangan tersebut yang kemudian ditampilkan dalam LCD.

1.4. Batasan Masalah

Untuk menjaga konsistensi dan agar cakupan pembahasan dari perancangan dan pembuatan alat ini tidak terlalu meluas maka penyusun perlu membuat batasan-batasan masalah yang meliputi :

1. Sistem dapat mengontrol suhu pada range $29^{\circ}\text{C} - 32^{\circ}\text{C}$.
2. Menggunakan Mikrokontroler Atmel AT89C51 yang berbasis I²C untuk pemrosesan.
3. Menggunakan I²C bus PCF8591 sebagai ADC dan I²C bus PCF8574 sebagai I/O *Expander*.
4. Alat hanya berupa Box (Miniaturnya ruangan untuk operasi) sebagai tempat untuk menguji contoh standart suhu ruangan operasi.
5. Tidak membahas catu daya.

1.5. Metodologi

Metodologi yang dipakai dalam pembuatan skripsi ini adalah:

1. Studi Literatur

Dengan mencari referensi-referensi yang berhubungan dengan perencanaan dan pembuatan alat yang akan dibuat.

2. *Field Research*

Dengan melakukan penelitian secara langsung mengenai objek-objek yang berhubungan langsung dengan perencanaan alat yang akan dibuat.

3. *Design* dan Pembuatan Alat

Yaitu meliputi pembuatan PCB, perakitan komponen serta penyolderan dan pembuatan perangkat lunak.

4. Pengujian Alat

Dengan melakukan pengujian perblok rangkaian dan kerja seluruh sistem pada alat tersebut.

5. Penyusunan Laporan Skripsi

Membuat laporan yang terdiri dari: Pendahuluan, Landasan Teori, Perencanaan dan Pembuatan Alat, Pengujian Alat dan Penutup.

1.6. Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini terbagi menjadi lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Membahas teori dasar penunjang perancangan dan pembuatan alat.

BAB III PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT

Membahas tentang perancangan alat yang terdiri dari perancangan perangkat keras dan perangkat lunak.

BAB IV PENGUJIAN ALAT

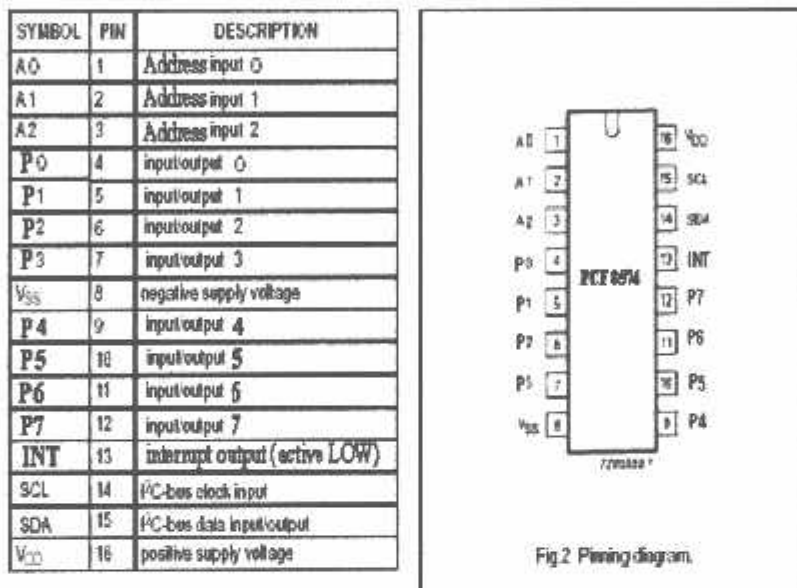
Membahas tentang pengujian peralatan secara keseluruhan dan analisa hasil pengujian.

BAB V PENUTUP

Berisikan kesimpulan dan saran.

- *I²C to parallel port expander*
- *Open-drain interrupt output*
- *Kompatibel penuh terhadap mikrokontroller*
- *Address by 3 hardware address pins for use of to 8 devices.*
- *Sampling rate given by I²C-bus speed*
- *8-bit remote I/O port untuk I²C Bus*

Konfigurasi pin :



Gambar 2.4.

Pin/Kaki Dari I²C PCF8574 8-bit I/O Expander

2.1.6 Cara Kerja I²C bus (Format 7 bit address)

a. Karakter Transfer Data Bit

Data bit dikirim/diterima melalui SDA, sedangkan sinyal clock dikirim/diterima melalui SCL, dimana dalam setiap transfer data bit satu sinyal clock dihasilkan, transfer data bit dianggap valid jika data bit pada SDA tetap

stabil selama sinyal clock high, data bit hanya boleh berubah jika sinyal clock dalam kondisi low.

b. Karakter Transfer Data Byte

I²C Bus berorientasi pada 8 bit data (byte), dengan most significant bit / MSB ditransfer terlebih dulu, serta 2 macam data byte yaitu **Address Byte** dan **Data Byte**.

c. Kondisi START dan STOP

Apabila pada SDA terjadi transisi dari kondisi high ke kondisi low pada saat SCL berkeadaan high, maka terjadilah kondisi START.

Apabila pada SDA terjadi transisi dari kondisi low ke kondisi high pada saat SCL berkeadaan high, maka terjadilah kondisi STOP.

Kondisi START dan STOP selalu dibangkitkan oleh Master, dan bus dikatakan sibuk setelah START dan dikatakan bebas setelah STOP.

d. ACK dan NACK

Kondisi ACK terjadi apabila receiver "menarik" SDA pada kondisi low selama 1 sinyal clock. Kondisi NACK terjadi apabila receiver "membebaskan" SDA pada kondisi high selama 1 sinyal clock.

e. Cara kerja I²C Bus (format 7 bit address)

Cara kerja I²C bus dapat dibedakan menjadi format 7 bit addressing dan format 10 bit addressing, dalam makalah ini hanya akan dibahas format 7 bit addressing. Inisiatif komunikasi/transfer data selalu oleh Master dengan mengirimkan kondisi START diikuti dengan address byte(7 bit address + 1 bit pengarah/data direction bit) seperti pada ilustrasi dibawah ini.

BAB II

DASAR TEORI

Dasar teori sangat membantu untuk dapat memahami suatu sistem. Selain dari pada itu dapat juga dijadikan sebagai bahan acuan di dalam merencanakan suatu sistem. Dengan pertimbangan hal-hal tersebut, maka dasar teori merupakan bagian yang harus dipahami untuk pembahasan selanjutnya. Pengetahuan yang mendukung perencanaan dan realisasi alat meliputi *Inter Integrated Circuit bus* (I²C) yang terdiri dari PCF8591 dan PCF8574, mikrokontroler AT89C51, sensor suhu (LM35DZ) dan sensor kelembaban (RHK1AN), Penguat Instrumentasi, Relay, *Liquid Crystal Display* (Dot Matrix LCD), Keypad 4X4.

2.1. *Inter Integrated Circuit Bus* (I²C)

2.1.1 Konsep I²C

Pada saat ini desain elektronik dituntut untuk semakin ringkas dan fleksibel, dimana ukuran fisik IC semakin diperkecil dan jumlah pin diminimalkan dengan tetap menjaga fleksibilitas dan komabilitas IC sehingga mudah untuk digunakan dalam berbagai keperluan desain yang berbeda. Oleh karenanya banyak perusahaan semikonduktor yang berusaha mengembangkan cara baru komunikasi antar IC yang lebih akomodatif terhadap tuntutan diatas sebagai alternative dari hubungan antar IC secara paralel (parallel bus) yang sudah kita kenal luas. Salah satu metode yang telah matang dan dipakai secara luas adalah IIC (sering ditulis juga I²C) singkatan dari *Inter Integrated Circuit bus* yang dikembangkan oleh Philips Semiconductor sejak tahun 1992, dengan konsep dasar

komunikasi 2 arah antar IC dan/ atau antar system secara serial menggunakan 2 kabel.

Slave yaitu device yang dialamati (diakses berdasarkan alamatnya) oleh Master.

Multi-master yaitu sistem yang memungkinkan lebih dari satu Master melakukan inisiatif transfer data dalam waktu yang bersamaan tanpa terjadi korupsi data.

Arbitration yaitu prosedur yang memastikan bahwa jika ada lebih dari satu Master melakukan inisiatif transfer data secara bersamaan, hanya akan ada satu Master yang diperbolehkan dengan tanpa merusak data yang sedang ditransfer.

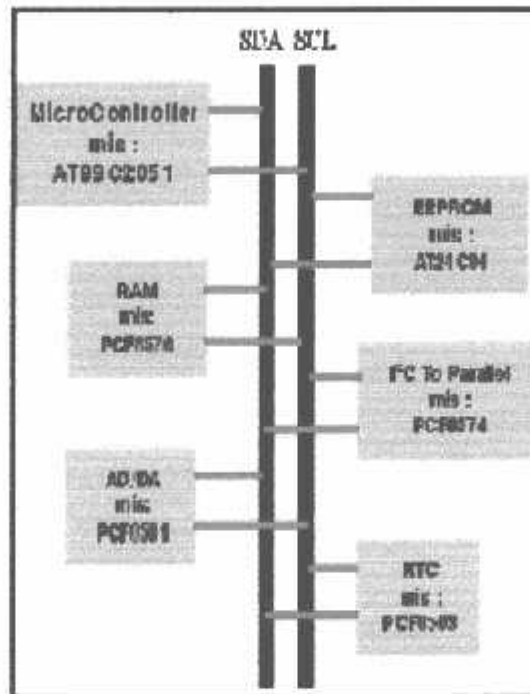
Synchronization yaitu prosedur untuk menyelaraskan sinyal clock dari dua atau lebih device.

- **Terminologi**

- **Transmitter** yaitu device yang mengirim data ke bus.
- **Receiver** yaitu device yang menerima data dari bus.
- **Master** yaitu device yang memiliki inisiatif (memulai dan mengakhiri) transfer data dan yang membangkitkan sinyal clock.
- **Slave** yaitu device yang dialamati (diakses berdasarkan alamatnya) oleh Master.
- **Multi-master** yaitu sistem yang memungkinkan lebih dari satu Master melakukan inisiatif transfer data dalam waktu yang bersamaan tanpa terjadi korupsi data.
- **Arbitration** yaitu prosedur yang memastikan bahwa jika ada lebih dari satu Master melakukan inisiatif transfer data secara bersamaan, hanya

akan ada satu Master yang diperbolehkan dengan tanpa merusak data yang sedang ditransfer.

- **Synchronization** yaitu prosedur untuk menyelaraskan sinyal clock dari dua atau lebih device.



Gambar 2.1.
Contoh Sistem dengan I²C bus

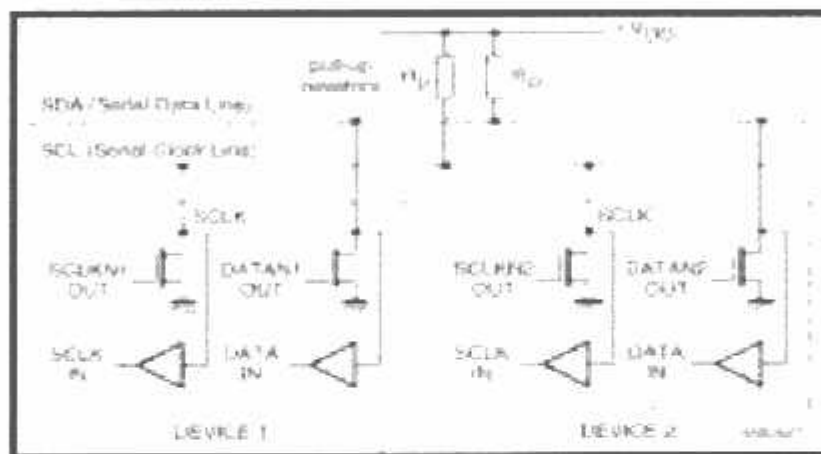
2.1.2 Fitur Utama I²C

Fitur Utama I²C bus adalah sebagai berikut :

- Hanya melibatkan 2 kabel yaitu *serial data line* (selanjutnya disebut **SDA**) dan *serial clock line* (selanjutnya disebut **SCL**).
- Setiap IC yang terhubung dalam I²C memiliki alamat yang unik yang dapat diakses secara *software* dengan *master/slave* protocol yang sederhana.

- I²C merupakan serial bus dengan orientasi data 8 bit (byte), komunikasi 2 arah.
- **Karakter perangkat keras**

Kedua pin pada I²C yaitu SDA dan SCL harus memiliki kemampuan input dan output serta bersifat open drain atau open collector . Kedua pin tersebut terhubung pada I²C bus yang telah di pull-up dengan resistor ke suplai positif dari sistem Semua device yang terhubung pada bus harus terhubung pada ground yang sama sebagai referensi.



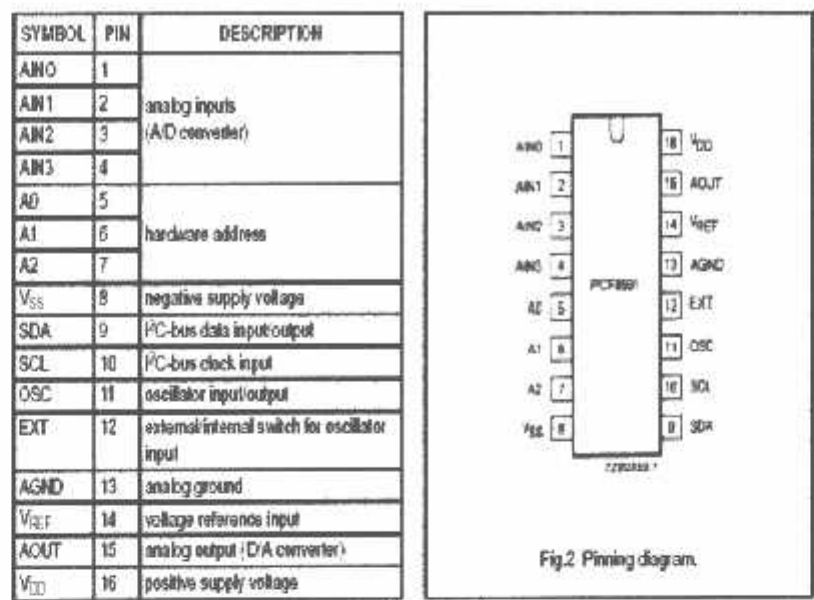
Gambar 2.2.
Koneksi I²C bus

2.1.3 Keuntungan I²C

Keuntungan yang didapat dengan menggunakan I²C antara lain :

- Meminimalkan jalur hubungan antar IC (bandingkan dengan parallel bus).
- Menghemat luasan PCB yang dibutuhkan.
- Membuat system yang didesain berorientasi software (mudah diekspan dan diupgrade).
- Membuat system yang didesain menjadi standart, sehingga dapat dihubungkan dengan system lain yang juga menggunakan I²C bus.

Konfigurasi pin :



Gambar 2.3.

Pin/Kaki Dari I²C PCF8591 8-bit ADC

2.1.5 Rangkaian I²C PCF8574 8-bit I/O Expander

PCF8574 adalah suatu chip tunggal buatan Philips Semicondutor, dengan analog data 8-bit CMOS dengan power suplay rendah, dan serial penghubung I²C Bus. Dengan mengirimkan interrupt line (INT) yang dapat dihubungkan dengan interrupt logic pada mikrokontroller.Sangat sesuai untuk menjadi slave. Juga dapat digunakan untuk memprogram perangkat keras, dan biasa digunakan sebagai I²C Bus.

Spesifikasi:

- *Operating supply voltage 2.5 V to 6 V*
- *Low standby current*

```

        mov     P0,#0D0h
        acall   w_ins
        acall   delays
tmp11:  acall   scnkpdp
        cjne    R0,#11,tmp12
        mov     SP,#07h
        ljmp    mulai
tmp12:  cjne    R0,#16,tmp10
;
seting: mov     P0,#01h                ; Display Clear
        acall   w_ins
        mov     DPTR,#atrbts
        acall   line1
        mov     Hurf,#16
        acall   tulis
        mov     DPTR,#angka
        mov     A,Dbts
        mov     B,#10
        div     AB
        mov     Dbt0,A
        mov     Dbt1,B
        mov     Dbt2,Dbtk
        mov     P0,#0C5h
        acall   w_ins
        mov     A,Dbt0
        acall   wr_chr
        mov     A,Dbt1
        acall   wr_chr
        mov     P0,#'.'
        acall   w_chr
        mov     A,Dbt2
        acall   wr_chr
        mov     P0,#0DFh
        acall   w_chr
        mov     P0,#'C'
        acall   w_chr
        mov     P0,#0D0h
        acall   w_ins
sting0: acall   scnkpdp
        cjne    R0,#11,sting1
        mov     SP,#07h
        ljmp    mulai
sting1: cjne    R0,#12,sting2
        sjmp    sting3
sting2: cjne    R0,#15,sting0
        ljmp    tampil
sting3: mov     P0,#0C5h
        acall   w_ins
        acall   tg_tkn
        mov     A,R0
        mov     Dbt0,A
        acall   wr_chr
        acall   tg_lps
        acall   tg_tkn
        mov     A,R0
        mov     Dbt1,A
        acall   wr_chr
        acall   tg_lps
        mov     P0,#'.'
        acall   w_chr
        acall   tg_tkn
        mov     A,R0
        mov     Dbt2,A
        acall   wr_chr
        acall   tg_lps
        mov     DPTR,#dtabnr
        acall   line1
        mov     Hurf,#16
        acall   tulis
sting4: acall   scnkpdp
        cjne    R0,#11,sting5
        mov     SP,#07h
        ljmp    mulai
sting5: cjne    R0,#12,sting4
        mov     A,Dbt0
        mov     B,#10
        mul     AB

```

```

        mov     B,Dbt1
        add     A,B
        mov     Dbts,A           ; simpan setting puluhan-satuan
        mov     Dbtk,Dbt2       ; simpan setting dibelakang koma
        mov     SP,#07h
        ljmp    mulai

;
klbrs:   mov     DPTR,#tdtadc
        acall   line1
        mov     Hurf,#16
        acall   tulis
        mov     DPTR,#tdtshu
        acall   line2
        mov     Hurf,#16
        acall   tulis
        acall   tg_lps
        mov     DPTR,#angka
klbrs0:  acall   bc_shu
        mov     P0,#08Ch
        acall   w_ins
        mov     A,Dshu
        acall   cchadc
        mov     P0,#0C8h
        acall   w_ins
        mov     A,Shu0
        acall   wr_chr
        mov     A,Shu1
        acall   wr_chr
        mov     P0,#'. '
        acall   w_chr
        mov     A,Shu2
        acall   wr_chr
        mov     P0,#0DFh
        acall   w_chr
        mov     P0,#0D0h
        acall   w_ins
        acall   delays
klbrs1:  acall   scnkp
        cjne    R0,#11,klbrs2
        mov     SP,#07h
        ljmp    mulai
klbrs2:  cjne    R0,#16,klbrs0
;
        mov     DPTR,#tdtadc
        acall   line1
        mov     Hurf,#16
        acall   tulis
        mov     DPTR,#tdtprh
        acall   line2
        mov     Hurf,#16
        acall   tulis
        acall   tg_lps
        mov     DPTR,#angka
klbrs3:  acall   bc_prh
        mov     P0,#08Ch
        acall   w_ins
        mov     A,Dprh
        acall   cchadc
        mov     P0,#0C9h
        acall   w_ins
        mov     A,Prh0
        acall   wr_chr
        mov     A,Prh1
        acall   wr_chr
        mov     P0,#025h
        acall   w_chr
        mov     P0,#0D0h
        acall   w_ins
        acall   delays
klbrs4:  acall   scnkp
        cjne    R0,#11,klbrs5
        mov     SP,#07h
        ljmp    mulai
klbrs5:  cjne    R0,#15,klbrs3
        ljmp    klbrs
;
bdgdta: acall   bc_shu

```

```

        mov     A,Suhu
        mov     B,Dbts
        div     AB
bdgdt0:  cjne    A,#0,bdgdt1
        sjmp    bdgdt2
bdgdt1:  mov     A,Suhu
        mov     B,Dbts
        subb    A,B
        cjne    A,#0,bdgdt3
        mov     A,Shu2
        mov     B,Dbtk
        div     AB
        cjne    A,#0,bdgdt3
bdgdt2:  acall   fanof
        acall   rlyon
        sjmp    bdgdt4
bdgdt3:  acall   rlyof
        acall   fanon
bdgdt4:  ret

bc_shu:  acall   i2cint
        mov     A,#90h                ; address PCF8591 write
        acall   adrtx
        mov     A,#40h                ; select adc ch-0
        acall   dtatx
        mov     A,#91h
        acall   adrtx
        acall   dtarx
        acall   givack
        acall   dtarx
        acall   i2cstp
        mov     Dshu,A
        mov     B,#10
        div     AB
        mov     Shu2,B                ; sisa = angka dibelakang koma
        mov     B,#25
        add     A,B
        mov     Suhu,A
        mov     B,#10
        div     AB
        mov     Shu0,A
        mov     Shu1,B
hpssh0:  mov     A,Shu0
        cjne    A,#0,hpssh1
        mov     Shu0,#10
hpssh1:  ret

;
bc_prh:  acall   i2cint
        mov     A,#90h                ; address PCF8591 write
        acall   adrtx
        mov     A,#41h                ; select adc ch-1
        acall   dtatx
        mov     A,#91h
        acall   adrtx
        acall   dtarx
        acall   givack
        acall   dtarx
        acall   i2cstp
        mov     DpRh,A
        mov     B,#2
        div     AB
        clr     C
        mov     B,A
        mov     A,#100
        subb    A,B
        mov     B,#10
        div     AB
        mov     Prh0,A
        mov     Prh1,B
hpsrh0:  mov     A,Prh0
        cjne    A,#0,hpsrh1
        mov     Prh0,#10
hpsrh1:  ret

;
cchadc:  mov     B,#100
        div     AB
        acall   wr_chr

```



```

        mov     A,B
        mov     B,#10
        div     AB
        acall   wr_chr
        mov     A,B
        acall   wr_chr
        ret

;
fanon:   acall   i2cint
        mov     A,#70h
        acall   adrtx
        mov     A,#11111101b
        acall   dtatx
        ret

;
rlyon:   acall   i2cint
        mov     A,#70h
        acall   adrtx
        mov     A,#11111011b
        acall   dtatx
        ret

;
fanof:   acall   i2cint
        mov     A,#70h
        acall   adrtx
        mov     A,#11111111b
        acall   dtatx
        ret

;
rlyof:   acall   i2cint
        mov     A,#70h
        acall   adrtx
        mov     A,#11111111b
        acall   dtatx
        ret

;
adrtx:   acall   i2cstr
        acall   putbit
        ret
; kirim address

;
dtatx:   acall   putbit
        ret
; kirim data

;
dtarx:   acall   getbit
        ret
; terima data

;
putbit:   mov     R7,#8
putbt:   RLC     A
        mov     ISDA,C
        setb    ISCL
        clr     ISCL
        djnz    R7,putbt
        setb    ISDA
        acall   getack
        ret

;
getbit:   clr     A
getbt:   mov     R7,#8
        setb    ISCL
        mov     C,ISDA
        RLC     A
        clr     ISCL
        djnz    R7,getbt
        setb    ISDA
        ret

;
getack:   setb    ISDA
        setb    ISCL
ackbit:   mov     C,ISDA
        jc      ackbit
        clr     ISCL
        ret

;
givack:   clr     ISDA
        setb    ISCL
        clr     ISCL
        setb    ISDA
; kirim ack
; \
; | D=0, C=1, C=0, D=1
; |
; /

```

```

ret
;
i2cint: setb    ISDA
        clr     ISCL
        clr     ISDA
        acall   i2cstp
        ret

;
i2cstr: setb    ISCL
        setb    ISDA
        clr     ISDA
        clr     ISCL
        ret

;
i2cstp: clr     ISDA
        setb    ISCL
        setb    ISDA
        clr     ISCL
        ret

;
scnkpd: mov     R0,#10
        acall   jeda
col1:   mov     P1,#11111110b
        mov     A,P1
c1b1:   cjne    A,#11101110b,c1b2
        mov     R0,#1
c1b2:   cjne    A,#11011110b,c1b3
        mov     R0,#2
c1b3:   cjne    A,#10111110b,c1b4
        mov     R0,#3
c1b4:   cjne    A,#01111110b,col2
        mov     R0,#13
;
col2:   mov     P1,#11111101b
        mov     A,P1
c2b1:   cjne    A,#11101101b,c2b2
        mov     R0,#4
c2b2:   cjne    A,#11011101b,c2b3
        mov     R0,#5
c2b3:   cjne    A,#10111101b,c2b4
        mov     R0,#6
c2b4:   cjne    A,#01111101b,col3
        mov     R0,#14
;
col3:   mov     P1,#11111011b
        mov     A,P1
c3b1:   cjne    A,#11101011b,c3b2
        mov     R0,#7
c3b2:   cjne    A,#11011011b,c3b3
        mov     R0,#8
c3b3:   cjne    A,#10111011b,c3b4
        mov     R0,#9
c3b4:   cjne    A,#01111011b,col4
        mov     R0,#15
;
col4:   mov     P1,#11110111b
        mov     A,P1
c4b1:   cjne    A,#11100111b,c4b2
        mov     R0,#11
c4b2:   cjne    A,#11010111b,c4b3
        mov     R0,#0
c4b3:   cjne    A,#10110111b,c4b4
        mov     R0,#12
c4b4:   cjne    A,#01110111b,back
        mov     R0,#16
back:   ret
;
tg_tkn: acall   scnkpd
tg_tk0: cjne    R0,#16,tg_tk1
        ljmp    tg_tkn
tg_tk1: cjne    R0,#15,tg_tk2
        ljmp    tg_tkn
tg_tk2: cjne    R0,#14,tg_tk3
        ljmp    tg_tkn
tg_tk3: cjne    R0,#13,tg_tk4
        ljmp    tg_tkn
tg_tk4: cjne    R0,#12,tg_tk5

```

```

; i2c init
;\
| D=1, C=0, D=0
;/

; i2c start
;\
| C=1, D=1, D=0, C=0
;/

; i2c stop
;\
| D=0, C=1, D=1, C=0
;/

```

```

tg_tk5: ljmp    tg_tkn
        cjne    R0,#11,tg_tk6
        ljmp    mulai
tg_tk6: cjne    R0,#10,tg_tk7
        ljmp    tg_tkn
tg_tk7: ret

;
tg_lps: acall   scnkp
        cine    R0,#10,tg_lps
        ret

;
line1:  mov     P0,#80h
        acall   w_ins
        ret

;
line2:  mov     P0,#0C0h
        acall   w_ins
        ret

;
tulis:  clr      A
        movc    A,@A+DPTR
        mov     P0,A
        inc     DPTR
        acall   w_chr
        djnz    Hurf,tulis
        ret

;
wr_chr: movc    A,@A+DPTR
        mov     P0,A
        acall   w_chr
        ret

;
w_ins:  clr      Enb1
        clr     Rest
        setb    Enb1
        clr     Enb1
        acall   jeda
        ret

;
w_chr:  clr      Enb1
        seth    Rest
        setb    Enb1
        clr     Enb1
        acall   jeda
        ret

;
lcd_in: acall   delays
        mov     P0,#01h
        acall   w_ins
        mov     P0,#38h
        acall   w_ins
        mov     P0,#0Dh
        acall   w_ins
        mov     P0,#06h
        acall   w_ins
        mov     P0,#02h
        acall   w_ins
        acall   delays
        ret

;
jeda:   djnz     Dly0,$
        ret

;
delays: acall   scnkp
        cine    R0,#13,dlys0
        ljmp    tampi1
dlys0:  cine    R0,#14,dlys1
        ljmp    klbrs
dlys1:  djnz     Dly1,delays
        acall   bdgda
        ret

;
delay1: mov     Dly2,#20
dly1:   acall   delays
        djnz    Dly2,dly1
        ret
;

```

; Display Clear

; Function Set

; Display On, Cursor, Blink

; Entry Mode

; Cursor Home

```
nama:   NR      ' Hendrik K '
        NR      ' NTM: 03.17.071 '
judul:  DB      ' Control I2C Suhu '
        NR      ' Kelembahan '
tpdshu: DB      ' Suhu : C '
tpdprh: DB      ' Kelembaban : '
atrbtn: DB      ' Atur Batas '
tdtadc: DB      ' Data ADC : '
tdtshu: NR      ' Suhu : C '
tdtprh: DB      ' RH : '
drahr:  NR      ' Data Renar ? '
kosong: DB
angka: DB      ' 0123456789 '
;
end
```

4.Data Sheet I²C Bus

Microprocessor Systems Laboratory
Synchronous Serial Bus - I2C

The I2C-bus benefits

In consumer electronics, telecommunications and industrial electronics, there are often many similarities between seemingly unrelated designs. For example, nearly every system includes:

- Some intelligent control, usually a single-chip microcontroller
- General-purpose circuits like LCD drivers, remote I/O ports, RAM, EEPROM, or data converters
- Application-oriented circuits such as digital tuning and signal processing circuits for radio and video systems, or DTMF generators for telephones with tone dialling.

To exploit these similarities to the benefit of both systems designers and equipment manufacturers, as well as to maximize hardware efficiency and circuit simplicity, Philips developed a simple bi-directional 2-wire bus for efficient inter-IC control. This bus is called the Inter IC or I²C-bus.

Here are some of the features of the I²C-bus:

- Only two bus lines are required; a serial data line (SDA) and a serial clock line (SCL)
- Each device connected to the bus is software addressable by a unique address and simple master/slave relationships exist at all times; masters can operate as master-transmitters or as master-receivers
- It's a true multi-master bus including collision detection and arbitration to prevent data corruption if two or more masters simultaneously initiate data transfer
- Serial, 8-bit oriented, bi-directional data transfers can be made at up to 100 kbit/s in the Standard-mode, up to 400 kbit/s in the Fast-mode, or up to 3.4 Mbit/s in the High-speed mode
- On-chip filtering rejects spikes on the bus data line to preserve data integrity
- The number of ICs that can be connected to the same bus is limited only by a maximum bus capacitance of 400 pF.

I²C-bus compatible ICs don't only assist designers, they also give a wide range of benefits to equipment manufacturers because:

- The simple 2-wire serial I²C-bus minimizes interconnections so ICs have fewer pins and there are not so many PCB tracks; result - smaller and less expensive PCBs
- The completely integrated I²C-bus protocol eliminates the need for address decoders and other 'glue logic'
- The multi-master capability of the I²C-bus allows rapid testing and alignment of end-user equipment via external connections to an assembly-line.

Introduction to the I2C-bus specification

For 8-bit oriented digital control applications, such as those requiring microcontrollers, certain design criteria can be established:

- A complete system usually consists of at least one microcontroller and other peripheral devices such as memories and I/O expanders
- The cost of connecting the various devices within the system must be minimized
- A system that performs a control function doesn't require high-speed data transfer
- Overall efficiency depends on the devices chosen and the nature of the interconnecting bus structure.

To produce a system to satisfy these criteria, a serial bus structure is needed. Although serial buses don't have the throughput capability of parallel buses, they do require less wiring and

fewer IC connecting pins. However, a bus is not merely an interconnecting wire, it embodies all the formats and procedures for communication within the system.

Two wires, serial data (SDA) and serial clock (SCL), carry information between the devices connected to the bus. Each device is recognized by a unique address (whether it's a microcontroller, LCD driver, memory or keyboard interface) and can operate as either a transmitter or receiver, depending on the function of the device. Obviously an LCD driver is only a receiver, whereas a memory can both receive and transmit data. In addition to transmitters and receivers, devices can also be considered as masters or slaves when performing data transfers. A master is the device which initiates a data transfer on the bus and generates the clock signals to permit that transfer. At that time, any device addressed is considered a slave. Generation of clock signals on the I²C-bus is always the responsibility of master devices; each master generates its own clock signals when transferring data on the bus.

General characteristics

Both SDA and SCL are bi-directional lines, connected to a positive supply voltage via a current-source or pull-up resistor (see Fig.1). When the bus is free, both lines are HIGH. The output stages of devices connected to the bus must have an open-drain or open-collector to perform the wired-AND function. Data on the I²C-bus can be transferred at rates of up to 100 kbit/s in the Standard-mode, up to 400 kbit/s in the Fast-mode, or up to 3.4 Mbit/s in the High-speed mode. The number of interfaces connected to the bus is solely dependent on the bus capacitance limit of 400 pF.

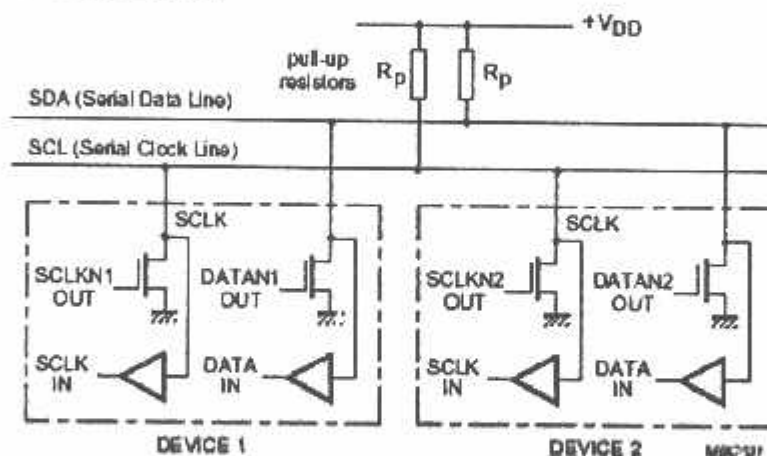


Fig 1. I²C-bus connection.

The data on the SDA line must be stable during the HIGH period of the clock. The HIGH or LOW state of the data line can only change when the clock signal on the SCL line is LOW (see Fig.2). One clock pulse is generated for each data bit transferred.

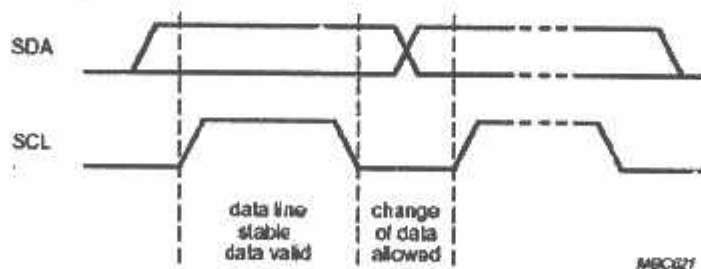


Fig 2. I²C-bus bit transfer.

Within the procedure of the I²C-bus, unique situations arise which are defined as START (S) and STOP (P) conditions (see Fig.3). A HIGH to LOW transition on the SDA line while SCL is HIGH is one such unique case. This situation indicates a START condition. A LOW to HIGH transition on the SDA line while SCL is HIGH defines a STOP condition. START and STOP conditions are always generated by the master. The bus is considered to be busy after the START condition. The bus is considered to be free again a certain time after the STOP condition.

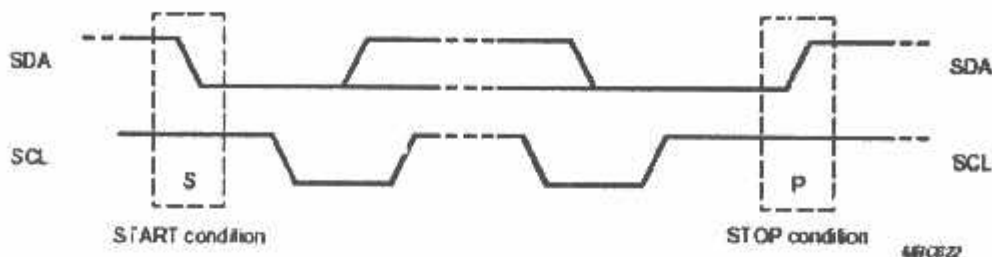


Fig 3. I²C-bus start and stop condition.

Transferring data

Byte format

Every byte put on the SDA line must be 8-bits long. The number of bytes that can be transmitted per transfer is unrestricted. Each byte has to be followed by an acknowledge bit. Data is transferred with the most significant bit (MSB) first (see Fig.4). If a slave can't receive or transmit another complete byte of data until it has performed some other function, for example servicing an internal interrupt, it can hold the clock line SCL LOW to force the master into a wait state. Data transfer then continues when the slave is ready for another byte of data and releases clock line SCL.

Acknowledge

Data transfer with acknowledge is obligatory. The acknowledge-related clock pulse is generated by the master. The transmitter releases the SDA line (HIGH) during the acknowledge clock pulse. The receiver must pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse so that it remains stable LOW during the HIGH period of this clock pulse.

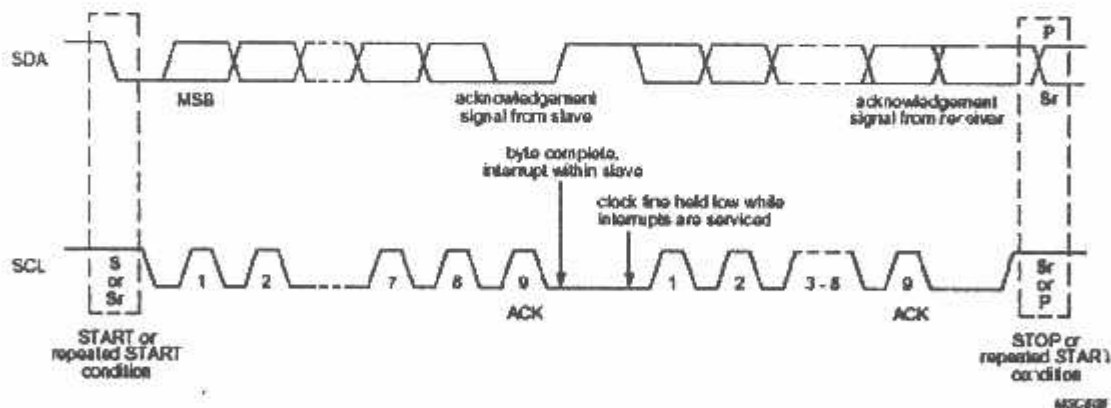


Fig 4. I²C-bus data transfer.

Addressing

Data transfers follow the format shown in Fig.5. After the START condition (S), a slave address is sent. This address is 7 bits long followed by an eighth bit which is a data direction bit (R/W) - a 'zero' indicates a transmission (WRITE), a 'one' indicates a request for data (READ). A data transfer is always terminated by a STOP condition (P) generated by the master. However, if a master still wishes to communicate on the bus (as on Fig.6), it can generate a repeated START condition (Sr) and address another slave without first generating a STOP condition. Various combinations of read/write formats are then possible within such a transfer.

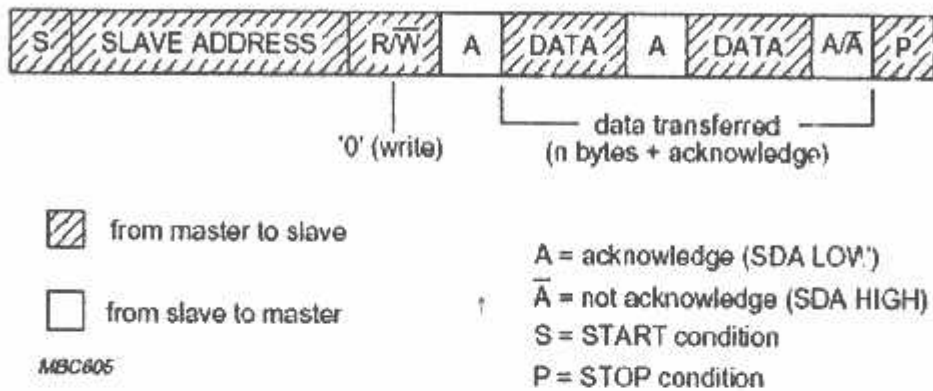


Fig 5. I2C-bus 7-bit addressing.

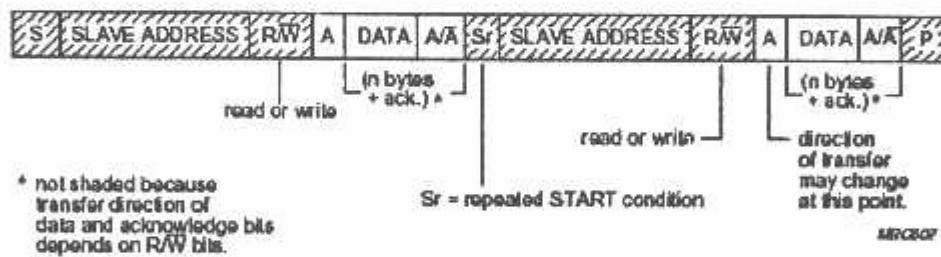


Fig 6. I2C-bus combined data transfer.

Based on *THE I2C-BUS SPECIFICATION VERSION 2.0 DECEMBER 1998* by Philips Semiconductors.

ICs used in the laboratory

On the laboratory there is a test-board with two I2C compatible chips. Test board is connected to the ICE that students should know from previous laboratory.

I2C compatible chips are:

- AC / CA converter - PCF 8591
- 256 byte RAM memory - PCF 8570

These chips are connected to one I2C bus, emulated on two ports of microcontroller. SDA line is connected to port P1.1, SCL line to P1.0. Both chips have three address pins that are connected to the ground (logic level 0). Addresses of chips are described in the following table:

IC	Slave address							
PCF 8591	1	0	1	0	A	A	A	R/W
PCF 8570	1	0	0	1	A	A	A	R/W

PCF 8570 abd PCF 8591 data trasfer

Data transfer between microcontroller (Master) and RAM (slave) is presented on the following figures. Fig. 7 presents writing bytes to RAM, Fig. 8 presents reading bytes from RAM or A/C converter. Word address is the internal address of byte in the memory while accessing the RAM and control byte while accessing the A/C converter. This control byte is described on Fig. 9.

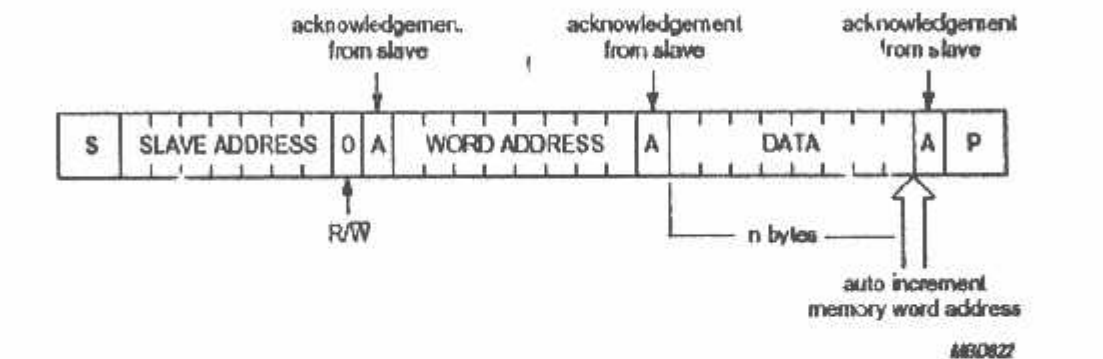


Fig 7. Write byte(s) to the PCF8570.

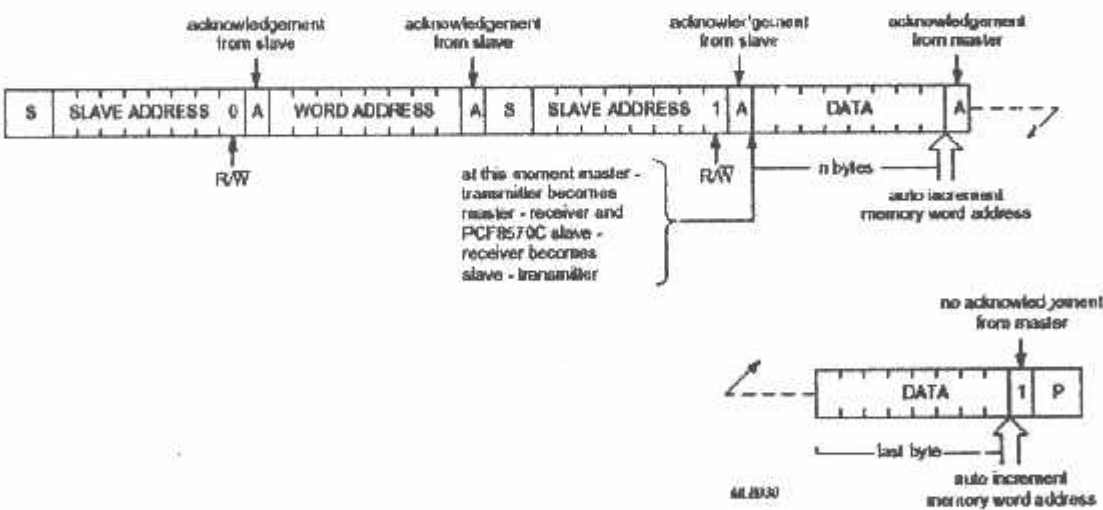


Fig 8. Read byte(s) from PCF8570 or PCF8591.

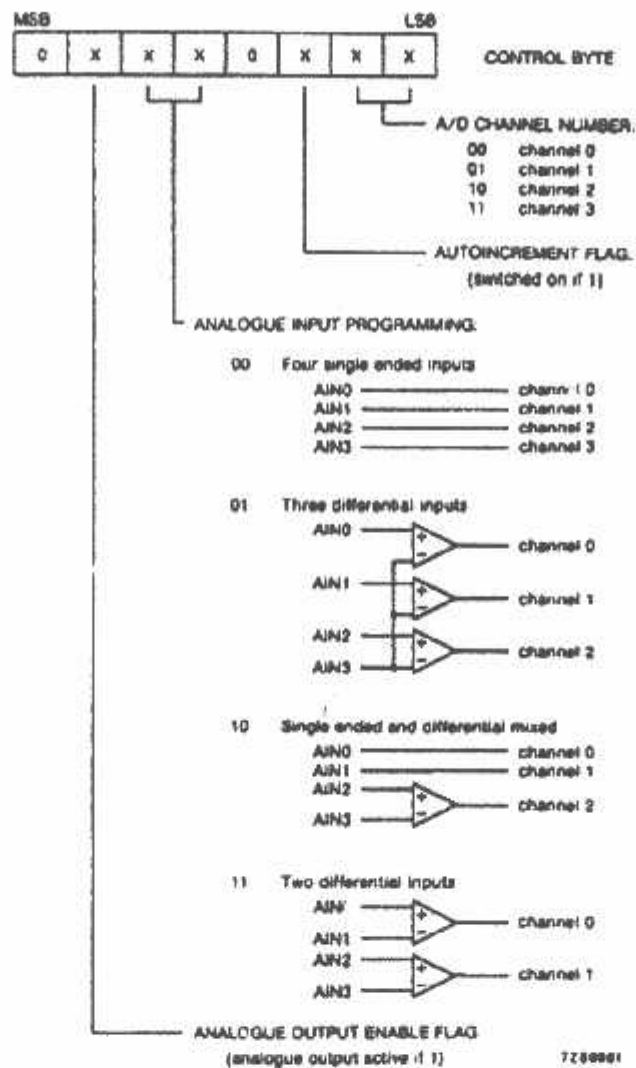


Fig 9. Control byte of PCF8591.

Exercise description

During the laboratory students are to modify the assembler program given by the supervisor. The program works on RAM memory (PCF 8570) writing the byte to the memory and next reading it back. Modified program should read bytes from A/C converter (PCF 8591) as a results of analog-to-digital conversion. The value of analog voltage on the input AIN1 of converter can be set with the potentiometer. Results of conversion could be presented on the two-coloured LED in the way chosen by students (blinking speed, PWM light modulation etc.) Program should be assembled and loaded into the ICE environment.

Software tools for writing the program:

- ConText editor
- ASM51 assembler with ASM51.PDF documentation
- Signum Systems emulator software

Hardware tools for debugging:

- USP51 In-Circuit Emulator

Important informations:

- Program that works with the RAM is located on **D:\Lab_i2c\i2c.asm**
- Assembling is executed on User Command No.1 in ConText editor (head with number one in button's menu)
- Shortcut to program for emulator is located on the desktop
- There are double-coloured LED connected to the test board, it is connected to the port P1.2 and P1.3 of the microcontroller. Write `clr P1.x` to turn the LED on, `setb P1.x` to turn the LED off.

The report should contain:

- Title page
 - Topic of the laboratory
 - Modified program with comments
 - Conclusions
-

5.PCF8591

DATA SHEET



PCF8591

8-bit A/D and D/A converter

Product specification

1998 Jul 02

Supersedes data of 1997 Apr 02

File under Integrated Circuits, IC12

hilips
emiconductors



PHILIPS

8-bit A/D and D/A converter**PCF8591****CONTENTS**

1	FEATURES
	APPLICATIONS
	GENERAL DESCRIPTION
	ORDERING INFORMATION
	BLOCK DIAGRAM
	PINNING
	FUNCTIONAL DESCRIPTION
1	Addressing
2	Control byte
3	D/A conversion
4	A/D conversion
5	Reference voltage
6	Oscillator
	CHARACTERISTICS OF THE I ² C-BUS
1	Bit transfer
2	Start and stop conditions
3	System configuration
4	Acknowledge
5	I ² C-bus protocol
	LIMITING VALUES
	HANDLING
	DC CHARACTERISTICS
2	D/A CHARACTERISTICS
	A/D CHARACTERISTICS
	AC CHARACTERISTICS
	APPLICATION INFORMATION
	PACKAGE OUTLINES
	SOLDERING
1	Introduction
2	DIP
2.1	Soldering by dipping or by wave
2.2	Repairing soldered joints
3	SO
3.1	Reflow soldering
3.2	Wave soldering
3.3	Repairing soldered joints
	DEFINITIONS
	LIFE SUPPORT APPLICATIONS
	PURCHASE OF PHILIPS I ² C COMPONENTS

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

1 FEATURES

- Single power supply
- Operating supply voltage 2.5 V to 6 V
- Low standby current
- Serial input/output via I²C-bus
- Address by 3 hardware address pins
- Sampling rate given by I²C-bus speed
- 4 analog inputs programmable as single-ended or differential inputs
- Auto-incremented channel selection
- Analog voltage range from V_{SS} to V_{DD}
- On-chip track and hold circuit
- 8-bit successive approximation A/D conversion
- Multiplying DAC with one analog output.

APPLICATIONS

- Closed loop control systems
- Low power converter for remote data acquisition
- Battery operated equipment
- Acquisition of analog values in automotive, audio and TV applications.



3 GENERAL DESCRIPTION

The PCF8591 is a single-chip, single-supply low power 8-bit CMOS data acquisition device with four analog inputs, one analog output and a serial I²C-bus interface. Three address pins A0, A1 and A2 are used for programming the hardware address, allowing the use of up to eight devices connected to the I²C-bus without additional hardware. Address, control and data to and from the device are transferred serially via the two-line bidirectional I²C-bus.

The functions of the device include analog input multiplexing, on-chip track and hold function, 8-bit analog-to-digital conversion and an 8-bit digital-to-analog conversion. The maximum conversion rate is given by the maximum speed of the I²C-bus.

ORDERING INFORMATION

TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	VERSION
CA8591P	DIP16	plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil); long body	SOT38-1
CA8591T	SO16	plastic small outline package; 16 leads; body width 7.5 mm	SOT162-1

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

5 BLOCK DIAGRAM

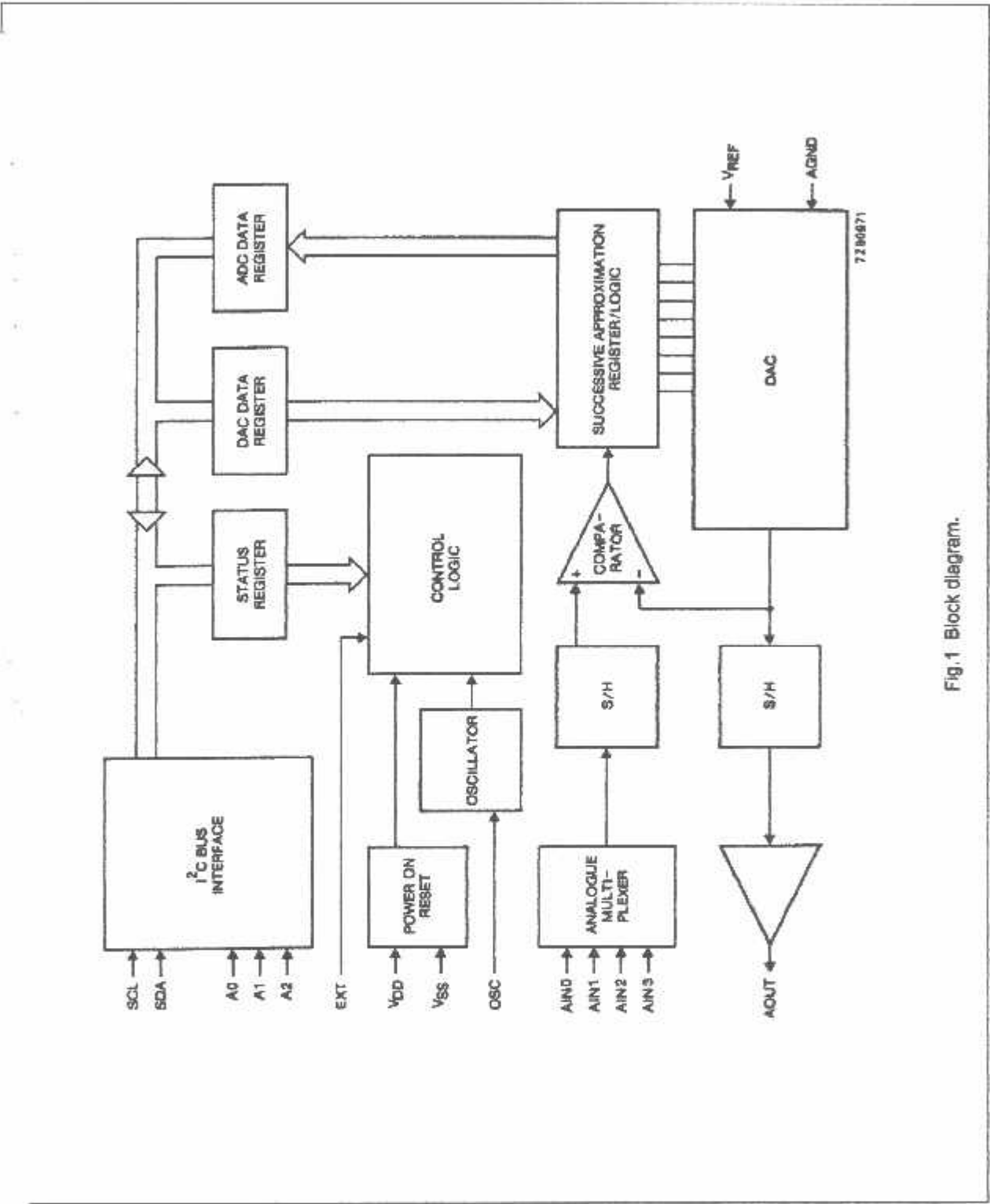


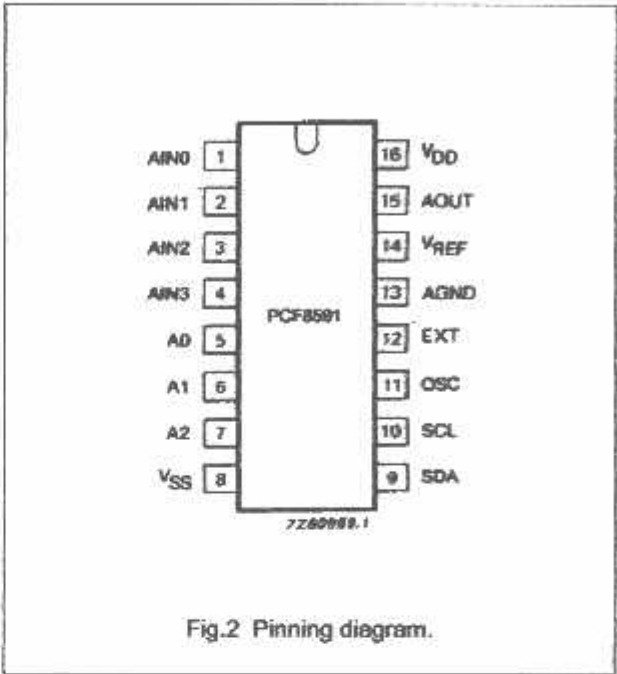
Fig.1 Block diagram.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

6 PINNING

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
AIN0	1	analog inputs (A/D converter)
AIN1	2	
AIN2	3	
AIN3	4	
V0	5	hardware address
V1	6	
V2	7	
Vss	8	
DA	9	I ² C-bus data input/output
SCL	10	I ² C-bus clock input
OSC	11	oscillator input/output
XT	12	external/internal switch for oscillator input
GND	13	analog ground
REF	14	voltage reference input
OUT	15	analog output (D/A converter)
VDD	16	positive supply voltage



8-bit A/D and D/A converter

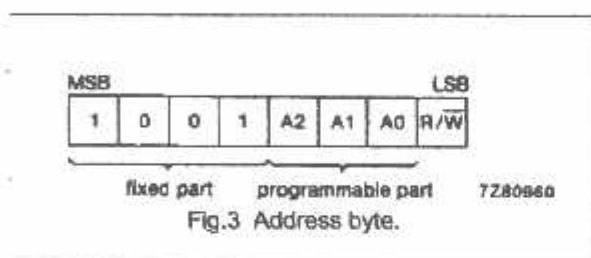
PCF8591

7 FUNCTIONAL DESCRIPTION

7.1 Addressing

Each PCF8591 device in an I²C-bus system is activated by sending a valid address to the device. The address consists of a fixed part and a programmable part.

The programmable part must be set according to the address pins A0, A1 and A2. The address always has to be sent as the first byte after the start condition in the I²C-bus protocol. The last bit of the address byte is the read/write-bit which sets the direction of the following data transfer (see Figs 3, 15 and 16).



7.2 Control byte

The second byte sent to a PCF8591 device will be stored in its control register and is required to control the device function.

The upper nibble of the control register is used for enabling the analog output, and for programming the analog inputs as single-ended or differential inputs. The lower nibble selects one of the analog input channels defined by the upper nibble (see Fig.4). If the auto-increment flag is set the channel number is incremented automatically after each A/D conversion.

If the auto-increment mode is desired in applications where the internal oscillator is used, the analog output enable flag in the control byte (bit 6) should be set. This allows the internal oscillator to run continuously, thereby preventing conversion errors resulting from oscillator start-up delay. The analog output enable flag may be reset at other times to reduce quiescent power consumption.

The selection of a non-existing input channel results in the highest available channel number being allocated. Therefore, if the auto-increment flag is set, the next selected channel will be always channel 0. The most significant bits of both nibbles are reserved for future functions and have to be set to 0. After a Power-on reset condition all bits of the control register are reset to 0. The D/A converter and the oscillator are disabled for power saving. The analog output is switched to a high-impedance state.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

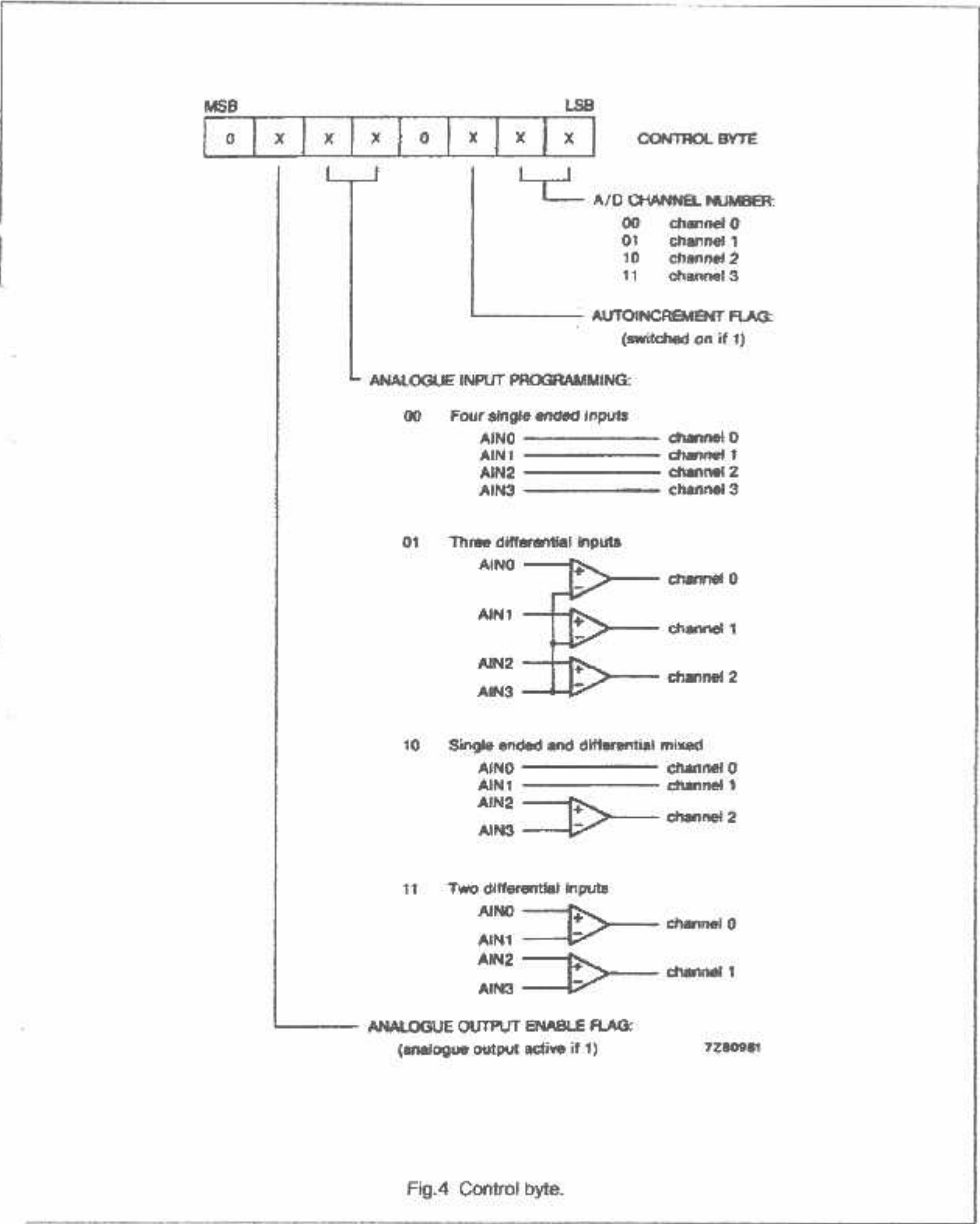


Fig.4 Control byte.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

7.3 D/A conversion

The third byte sent to a PCF8591 device is stored in the DAC data register and is converted to the corresponding analog voltage using the on-chip D/A converter. This D/A converter consists of a resistor divider chain connected to the external reference voltage with 256 taps and selection switches. The tap-decoder switches one of these taps to the DAC output line (see Fig.5).

The analog output voltage is buffered by an auto-zeroed unity gain amplifier. This buffer amplifier may be switched on or off by setting the analog output enable flag of the control register. In the active state the output voltage is held until a further data byte is sent.

The on-chip D/A converter is also used for successive approximation A/D conversion. In order to release the DAC for an A/D conversion cycle the unity gain amplifier is equipped with a track and hold circuit. This circuit holds the output voltage while executing the A/D conversion.

The output voltage supplied to the analog output AOUT is given by the formula shown in Fig.6. The waveforms of a D/A conversion sequence are shown in Fig.7.

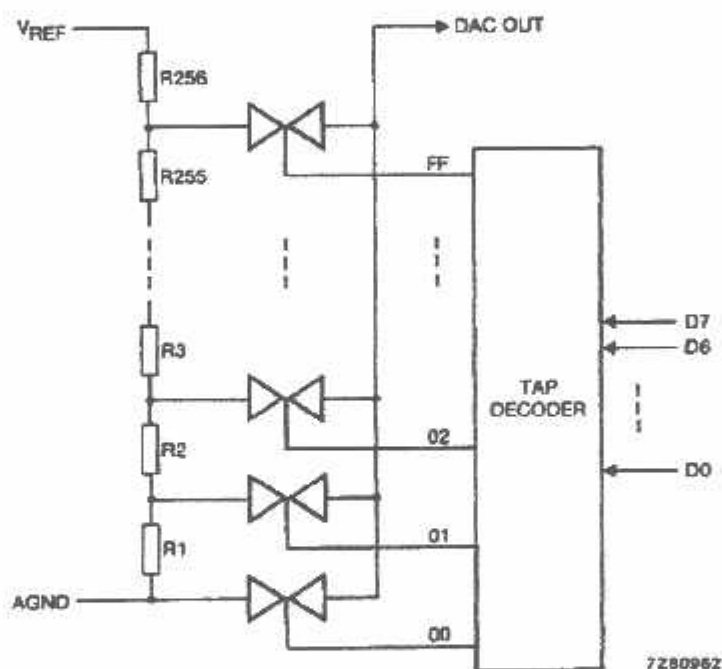


Fig.5 DAC resistor divider chain.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

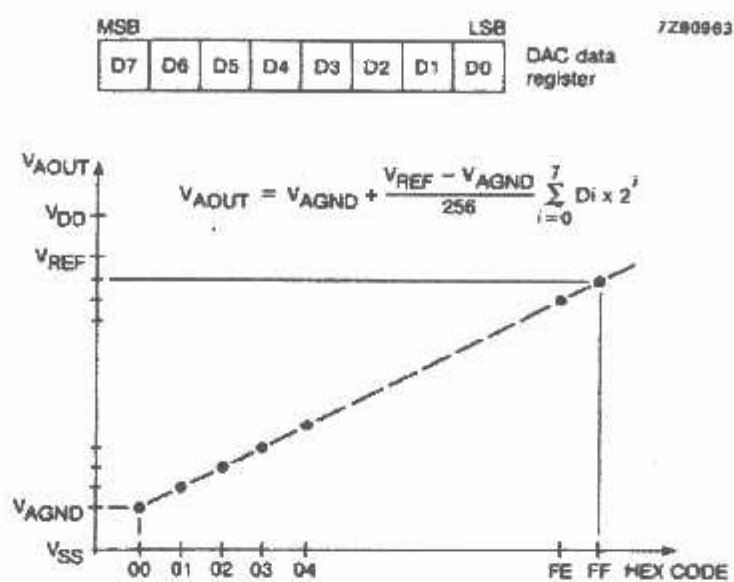


Fig.6 DAC data and DC conversion characteristics.

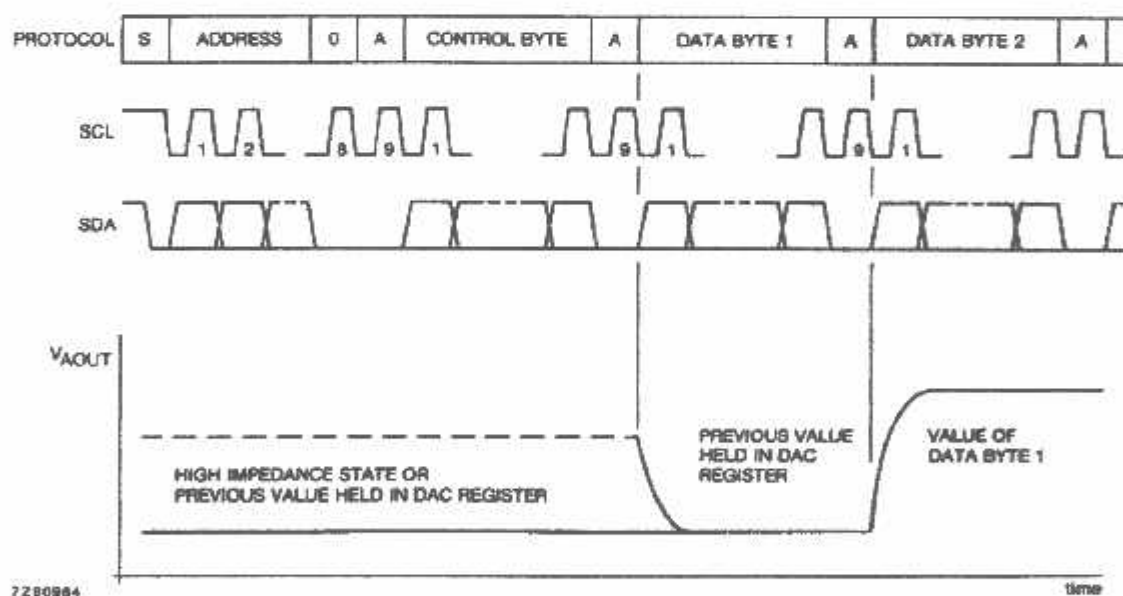


Fig.7 D/A conversion sequence.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

7.4 A/D conversion

The A/D converter makes use of the successive approximation conversion technique. The on-chip D/A converter and a high-gain comparator are used temporarily during an A/D conversion cycle.

An A/D conversion cycle is always started after sending a valid read mode address to a PCF8591 device. The A/D conversion cycle is triggered at the trailing edge of the acknowledge clock pulse and is executed while transmitting the result of the previous conversion (see Fig.8).

Once a conversion cycle is triggered an input voltage sample of the selected channel is stored on the chip and is converted to the corresponding 8-bit binary code. Samples picked up from differential inputs are converted to an 8-bit two's complement code (see Figs 9 and 10).

The conversion result is stored in the ADC data register and awaits transmission. If the auto-increment flag is set the next channel is selected.

The first byte transmitted in a read cycle contains the conversion result code of the previous read cycle. After a Power-on reset condition the first byte read is a hexadecimal 80. The protocol of an I²C-bus read cycle is shown in Chapter 8, Figs 15 and 16.

The maximum A/D conversion rate is given by the actual speed of the I²C-bus.

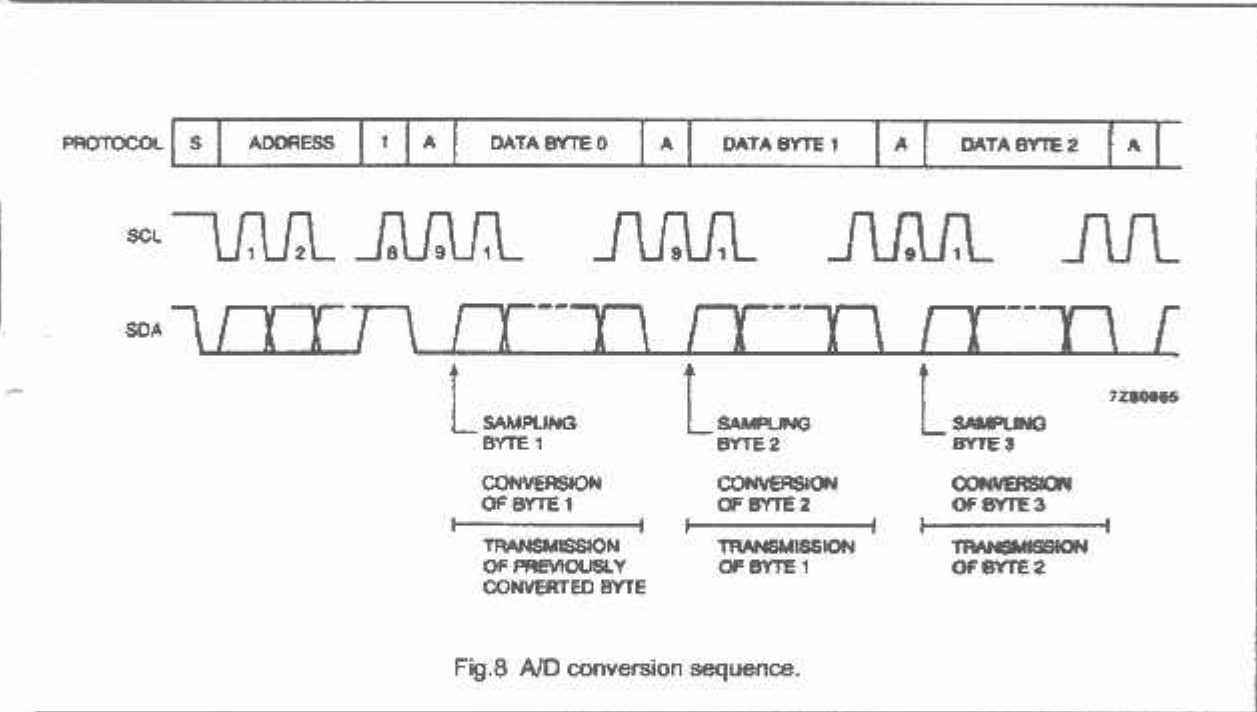


Fig.8 A/D conversion sequence.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

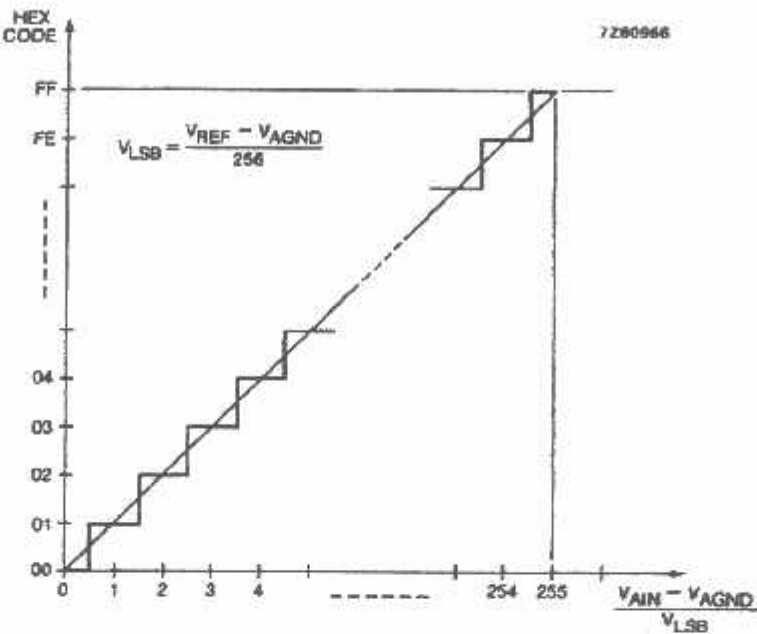


Fig.9 A/D conversion characteristics of single-ended inputs.

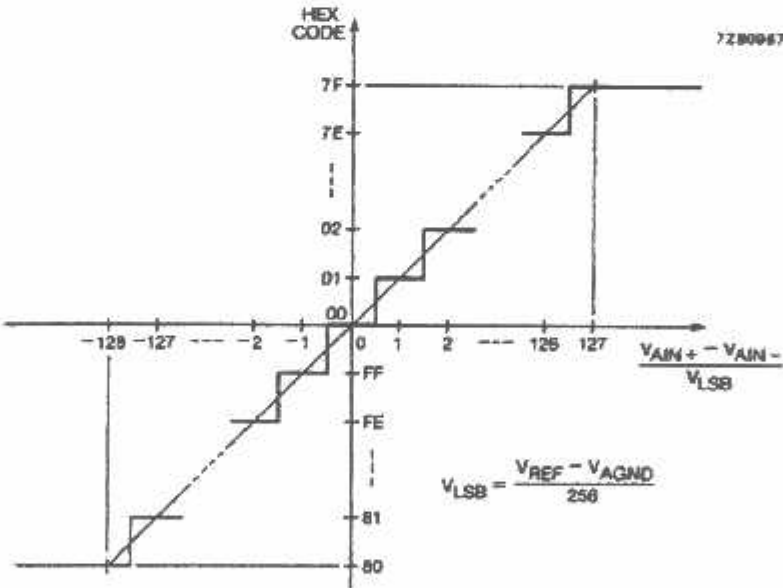


Fig.10 A/D conversion characteristics of differential inputs.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

7.5 Reference voltage

For the D/A and A/D conversion either a stable external voltage reference or the supply voltage has to be applied to the resistor divider chain (pins V_{REF} and AGND).

The AGND pin has to be connected to the system analog ground and may have a DC off-set with reference to V_{SS} .

A low frequency may be applied to the V_{REF} and AGND pins. This allows the use of the D/A converter as a one-quadrant multiplier; see Chapter 15 and Fig.6.

The A/D converter may also be used as a one or two quadrant analog divider. The analog input voltage is divided by the reference voltage. The result is converted to a binary code. In this application the user has to keep the reference voltage stable during the conversion cycle.

7.6 Oscillator

An on-chip oscillator generates the clock signal required for the A/D conversion cycle and for refreshing the auto-zeroed buffer amplifier. When using this oscillator the EXT pin has to be connected to V_{SS} . At the OSC pin the oscillator frequency is available.

If the EXT pin is connected to V_{DD} the oscillator output OSC is switched to a high-impedance state allowing the user to feed an external clock signal to OSC.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

8 CHARACTERISTICS OF THE I²C-BUS

The I²C-bus is for bidirectional, two-line communication between different ICs or modules. The two lines are a serial data line (SDA) and a serial clock line (SCL). Both lines must be connected to a positive supply via a pull-up resistor. Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.

8.1 Bit transfer

One data bit is transferred during each clock pulse. The data on the SDA line must remain stable during the HIGH period of the clock pulse as changes in the data line at this time will be interpreted as a control signal.

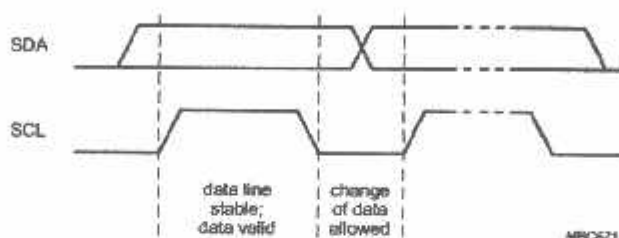


Fig.11 Bit transfer.

8.2 Start and stop conditions

Both data and clock lines remain HIGH when the bus is not busy. A HIGH-to-LOW transition of the data line, while the clock is HIGH, is defined as the start condition (S). A LOW-to-HIGH transition of the data line while the clock is HIGH, is defined as the stop condition (P).

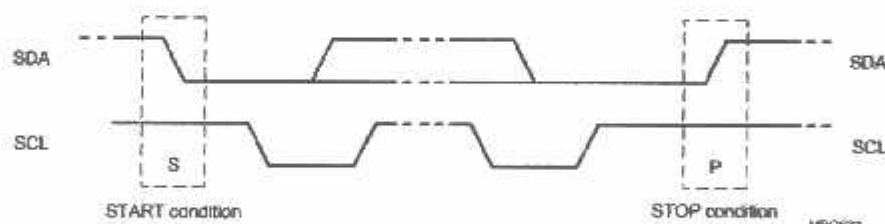


Fig.12 Definition of START and STOP condition.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

8.3 System configuration

A device generating a message is a 'transmitter', a device receiving a message is the 'receiver'. The device that controls the message is the 'master' and the devices which are controlled by the master are the 'slaves'.

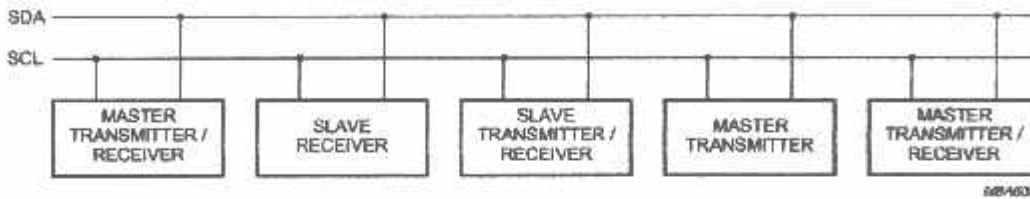


Fig.13 System configuration.

8.4 Acknowledge

The number of data bytes transferred between the start and stop conditions from transmitter to receiver is not limited. Each data byte of eight bits is followed by one acknowledge bit. The acknowledge bit is a HIGH level put on the bus by the transmitter whereas the master also generates an extra acknowledge related clock pulse. A slave receiver which is addressed must generate an acknowledge after the reception of each byte. Also a master must generate an acknowledge after the reception of each byte that has been clocked out of the slave transmitter. The device that acknowledges has to pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse, so that the SDA line is stable LOW during the HIGH period of the acknowledge related clock pulse. A master receiver must signal an end of data to the transmitter by not generating an acknowledge on the last byte that has been clocked out of the slave. In this event the transmitter must leave the data line HIGH to enable the master to generate a stop condition.

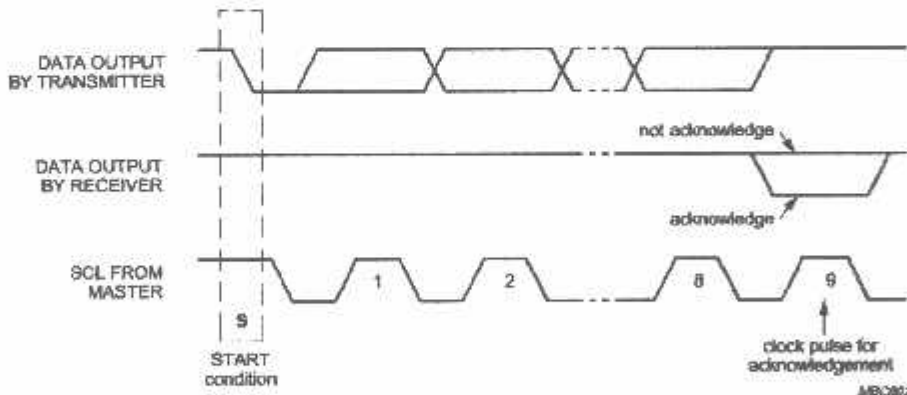


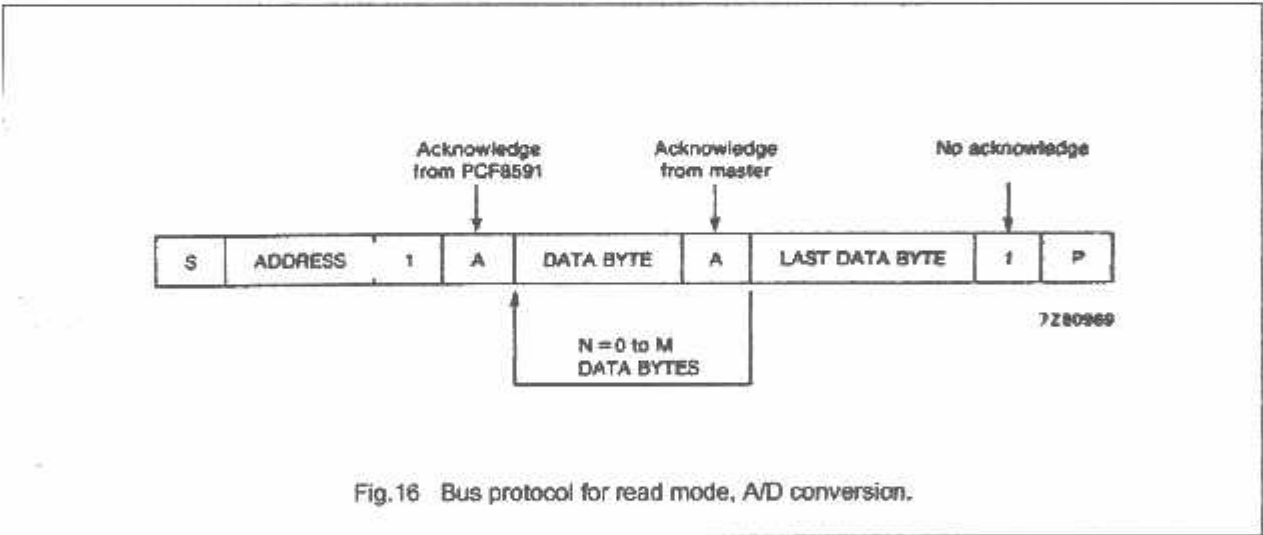
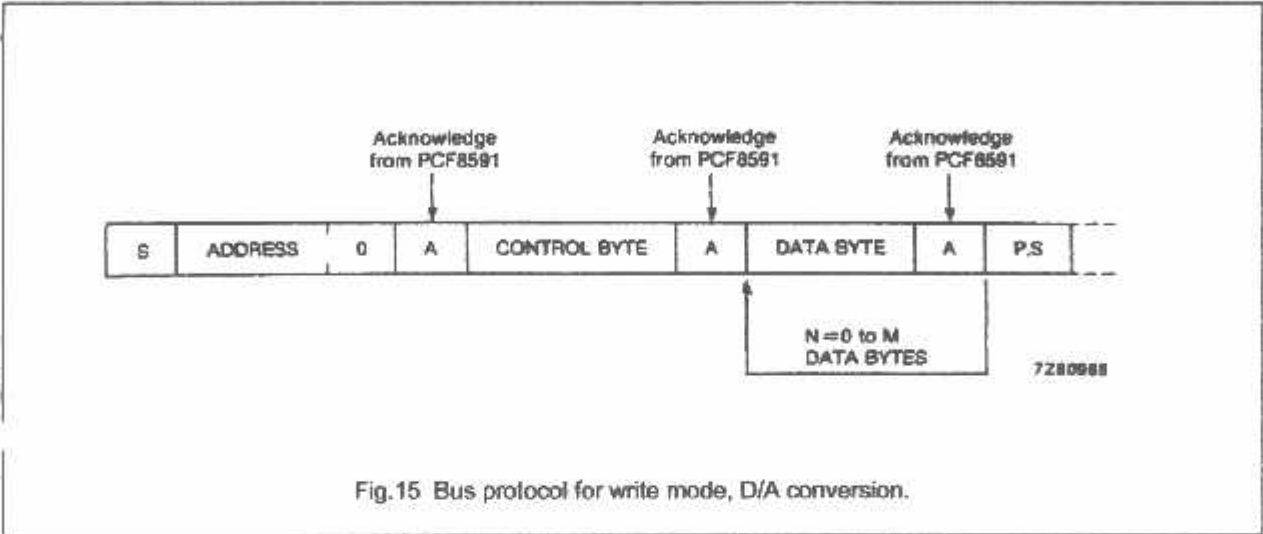
Fig. 14 Acknowledgement on the I²C-bus.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

8.5 I²C-bus protocol

After a start condition a valid hardware address has to be sent to a PCF8591 device. The read/write bit defines the direction of the following single or multiple byte data transfer. For the format and the timing of the start condition (S), the stop condition (P) and the acknowledge bit (A) refer to the I²C-bus characteristics. In the write mode a data transfer is terminated by sending either a stop condition or the start condition of the next data transfer.



8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

9 LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	MAX.	UNIT
V _{DD}	supply voltage (pin 16)	−0.5	+8.0	V
V _I	input voltage (any input)	−0.5	V _{DD} + 0.5	V
I _I	DC input current	−	±10	mA
I _O	DC output current	−	±20	mA
I _{DD} , I _{SS}	V _{DD} or V _{SS} current	−	±50	mA
P _{tot}	total power dissipation per package	−	300	mW
P _O	power dissipation per output	−	100	mW
T _{amb}	operating ambient temperature	−40	+85	°C
T _{stg}	storage temperature	−65	+150	°C

10 HANDLING

Inputs and outputs are protected against electrostatic discharge in normal handling. However, to be totally safe, it is desirable to take precautions appropriate to handling MOS devices. Advice can be found in Data Handbook IC12 under "Handling MOS Devices".

103
104
105
106
107

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

11 DC CHARACTERISTICS

$V_{DD} = 2.5 \text{ V to } 6 \text{ V}$; $V_{SS} = 0 \text{ V}$; $T_{amb} = -40 \text{ }^{\circ}\text{C to } +85 \text{ }^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Supply						
V_{DD}	supply voltage (operating)		2.5	—	6.0	V
I_{DD}	supply current					
	standby	$V_I = V_{SS}$ or V_{DD} ; no load	—	1	15	μA
	operating, AOUT off	$f_{SCL} = 100 \text{ kHz}$	—	125	250	μA
	operating, AOUT active	$f_{SCL} = 100 \text{ kHz}$	—	0.45	1.0	mA
V_{POR}	Power-on reset level	note 1	0.8	—	2.0	V
Digital inputs/output: SCL, SDA, A0, A1, A2						
V_{IL}	LOW level input voltage		0	—	$0.3 \times V_{DD}$	V
V_{IH}	HIGH level input voltage		$0.7 \times V_{DD}$	—	V_{DD}	V
I_L	leakage current					
	A0, A1, A2	$V_I = V_{SS}$ to V_{DD}	−250	—	+250	nA
	SCL, SDA	$V_I = V_{SS}$ to V_{DD}	−1	—	+1	μA
C_i	input capacitance		—	—	5	pF
I_{OL}	LOW level SDA output current	$V_{OL} = 0.4 \text{ V}$	3.0	—	—	mA
Reference voltage inputs						
V_{REF}	reference voltage	$V_{REF} > V_{AGND}$; note 2	$V_{SS} + 1.6$	—	V_{DD}	V
V_{AGND}	analog ground voltage	$V_{REF} > V_{AGND}$; note 2	V_{SS}	—	$V_{DD} - 0.8$	V
I_U	input leakage current		−250	—	+250	nA
R_{REF}	input resistance	pins V_{REF} and AGND	—	100	—	k Ω
Oscillator: OSC, EXT						
I_U	input leakage current		—	—	250	nA
f_{OSC}	oscillator frequency		0.75	—	1.25	MHz

Notes

- The power on reset circuit resets the I²C-bus logic when V_{DD} is less than V_{POR} .
- A further extension of the range is possible, if the following conditions are fulfilled:

$$\frac{V_{REF} + V_{AGND}}{2} \geq 0.8 \text{ V}, V_{DD} - \frac{V_{REF} + V_{AGND}}{2} \geq 0.4 \text{ V}$$

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

12 D/A CHARACTERISTICS

$V_{DD} = 5.0\text{ V}$; $V_{SS} = 0\text{ V}$; $V_{REF} = 5.0\text{ V}$; $V_{AGND} = 0\text{ V}$; $R_L = 10\text{ k}\Omega$; $C_L = 100\text{ pF}$; $T_{amb} = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Analog output						
V_{OA}	output voltage	no resistive load	V_{SS}	—	V_{DD}	V
		$R_L = 10\text{ k}\Omega$	V_{SS}	—	$0.9 \times V_{DD}$	V
I_{LO}	output leakage current	AOUT disabled	—	—	250	nA
Accuracy						
OS_e	offset error	$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	—	—	50	mV
L_e	linearity error		—	—	± 1.5	LSB
G_e	gain error	no resistive load	—	—	1	%
t_{DAC}	settling time	to $\frac{1}{2}$ LSB full scale step	—	—	90	μs
f_{DAC}	conversion rate		—	—	11.1	kHz
SNRR	supply noise rejection ratio	$f = 100\text{ Hz}$; $V_{DDN} = 0.1 \times V_{PP}$	—	40	—	dB

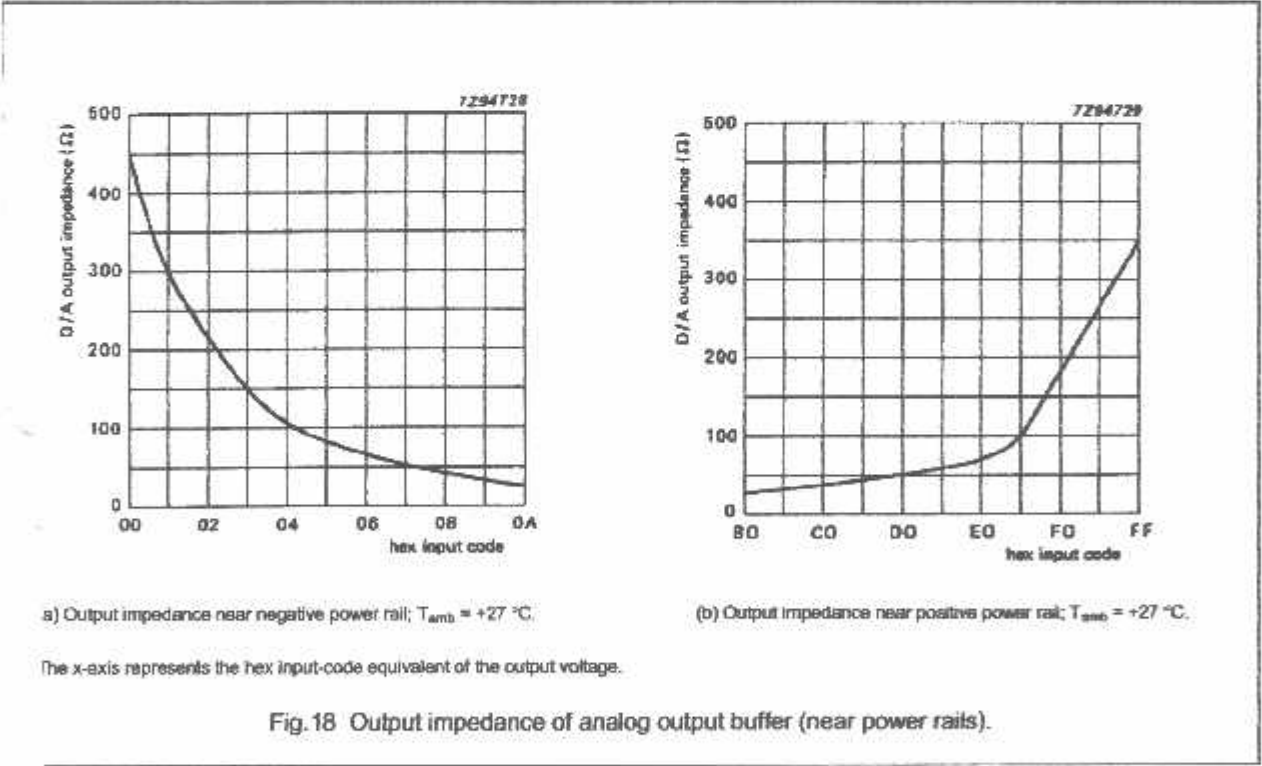
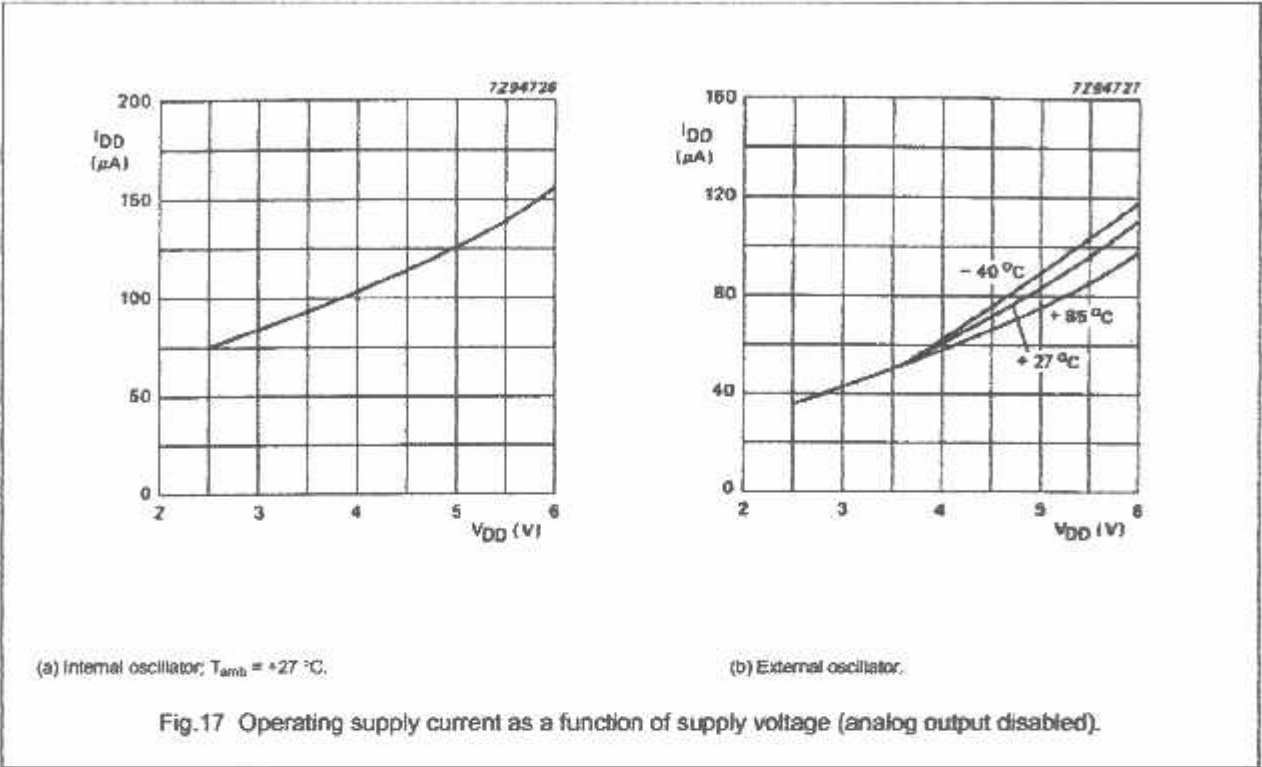
13 A/D CHARACTERISTICS

$V_{DD} = 5.0\text{ V}$; $V_{SS} = 0\text{ V}$; $V_{REF} = 5.0\text{ V}$; $V_{AGND} = 0\text{ V}$; $R_S = 10\text{ k}\Omega$; $T_{amb} = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Analog inputs						
V_{IA}	analog input voltage		V_{SS}	—	V_{DD}	V
I_{LIA}	analog input leakage current		—	—	100	nA
C_{IA}	analog input capacitance		—	10	—	pF
C_{ID}	differential input capacitance		—	10	—	pF
V_{IS}	single-ended voltage	measuring range	V_{AGND}	—	V_{REF}	V
V_{ID}	differential voltage	measuring range; $V_{FS} = V_{REF} - V_{AGND}$	$\frac{-V_{FS}}{2}$	—	$\frac{+V_{FS}}{2}$	V
Accuracy						
OS_e	offset error	$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	—	—	20	mV
L_e	linearity error		—	—	± 1.5	LSB
G_e	gain error		—	—	1	%
δ_e	small-signal gain error	$\Delta V_I = 16\text{ LSB}$	—	—	5	%
CMRR	common-mode rejection ratio		—	60	—	dB
IRR	supply noise rejection ratio	$f = 100\text{ Hz}$; $V_{DDN} = 0.1 \times V_{PP}$	—	40	—	dB
t_C	conversion time		—	—	90	μs
f_C	sampling/conversion rate		—	—	11.1	kHz

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591



8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

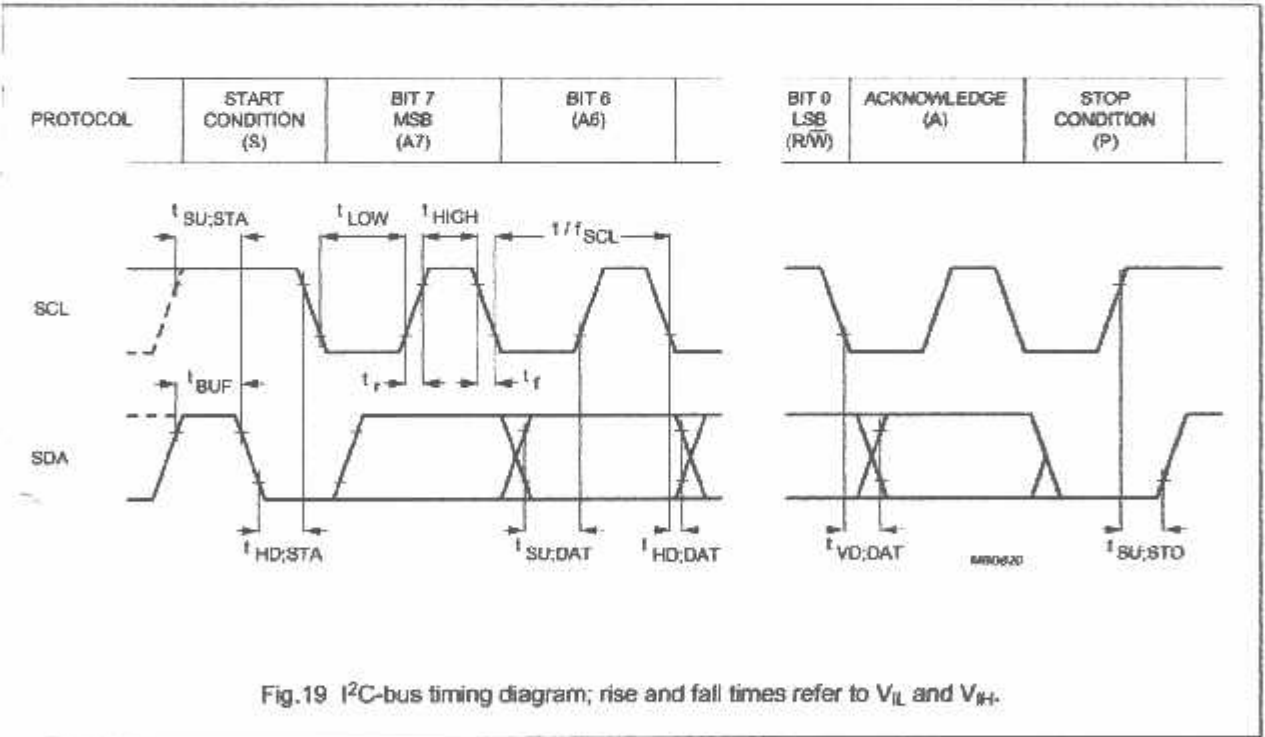
14 AC CHARACTERISTICS

All timing values are valid within the operating supply voltage and ambient temperature range and reference to V_{IL} and V_{IH} with an input voltage swing of V_{SS} to V_{DD} .

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I²C-bus timing (see Fig.19; note 1)					
f _{SCL}	SCL clock frequency	–	–	100	kHz
t _{SP}	tolerable spike width on bus	–	–	100	ns
t _{BUF}	bus free time	4.7	–	–	µs
t _{SU,STA}	START condition set-up time	4.7	–	–	µs
t _{HD,STA}	START condition hold time	4.0	–	–	µs
t _{LOW}	SCL LOW time	4.7	–	–	µs
t _{HIGH}	SCL HIGH time	4.0	–	–	µs
t _r	SCL and SDA rise time	–	–	1.0	µs
t _f	SCL and SDA fall time	–	–	0.3	µs
t _{SU,DAT}	data set-up time	250	–	–	ns
t _{HD,DAT}	data hold time	0	–	–	ns
t _{VD,DAT}	SCL LOW-to-data out valid	–	–	3.4	µs
t _{SU,STO}	STOP condition set-up time	4.0	–	–	µs

Note

1. A detailed description of the I²C-bus specification, with applications, is given in brochure "The I²C-bus and how to use it". This brochure may be ordered using the code 9398 393 40011.



8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

15 APPLICATION INFORMATION

Inputs must be connected to V_{SS} or V_{DD} when not in use. Analog inputs may also be connected to AGND or V_{REF} .

In order to prevent excessive ground and supply noise and to minimize cross-talk of the digital to analog signal paths the user has to design the printed-circuit board layout very carefully. Supply lines common to a PCF8591 device and noisy digital circuits and ground loops should be avoided. Decoupling capacitors ($>10\text{ }\mu\text{F}$) are recommended for power supply and reference voltage inputs.

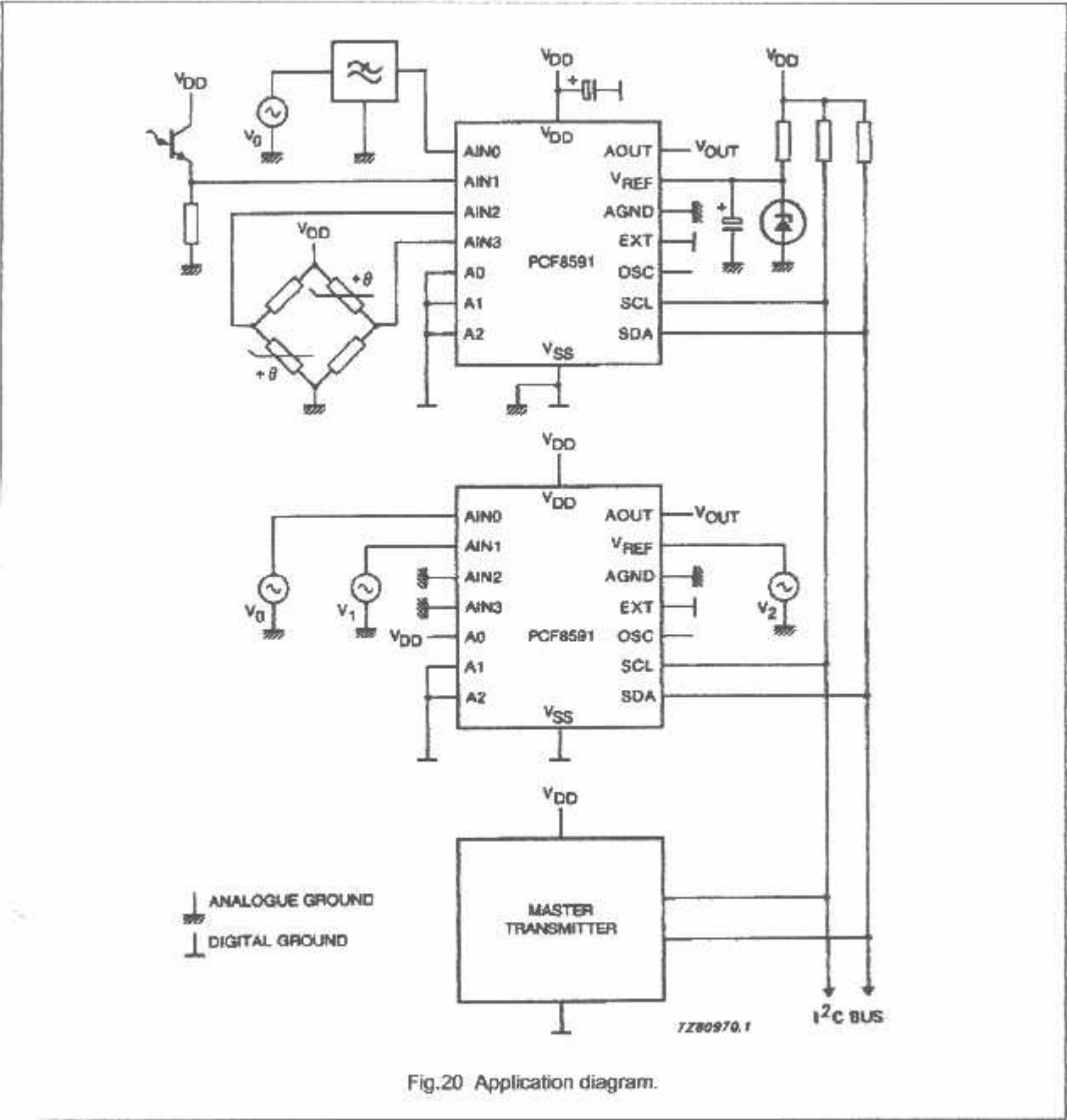


Fig.20 Application diagram.

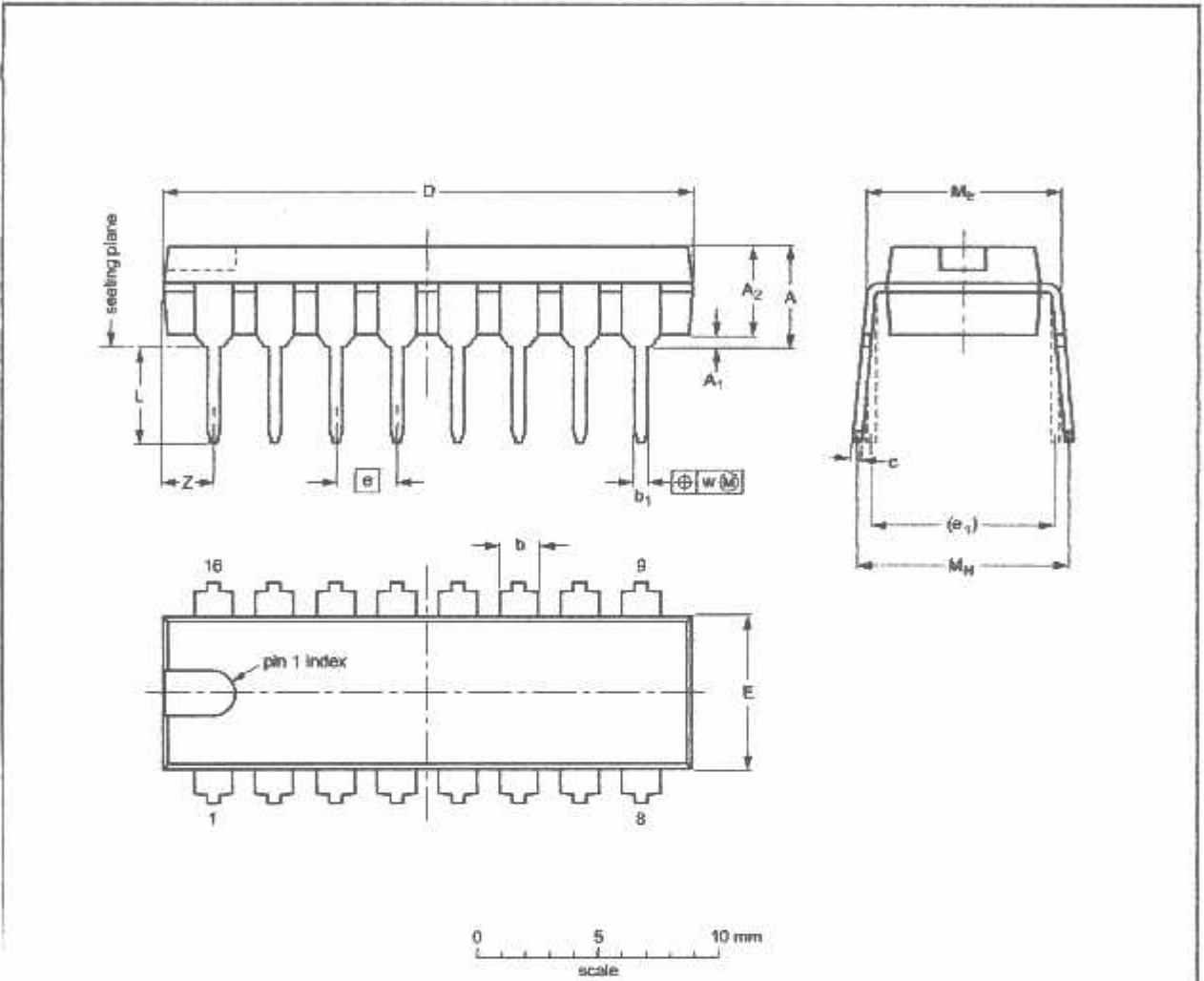
8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

16 PACKAGE OUTLINES

DIP16: plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil); long body

SOT38-1



DIMENSIONS (Inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A ₁ min.	A ₂ max.	b	b ₁	c	D ⁽¹⁾	E ⁽¹⁾	e	e ₁	L	M _E	M _H	w	Z ⁽¹⁾ max.
mm	4.7	0.51	3.7	1.40 1.14	0.53 0.38	0.32 0.23	21.8 21.4	8.48 8.20	2.54	7.62	3.9 3.4	8.25 7.80	9.5 8.3	0.254	2.2
inches	0.19	0.020	0.15	0.055 0.045	0.021 0.015	0.013 0.009	0.86 0.84	0.28 0.24	0.10	0.30	0.15 0.13	0.32 0.31	0.37 0.33	0.01	0.087

Notes
Plastic or metal protrusions of 0.25 mm maximum per side are not included.

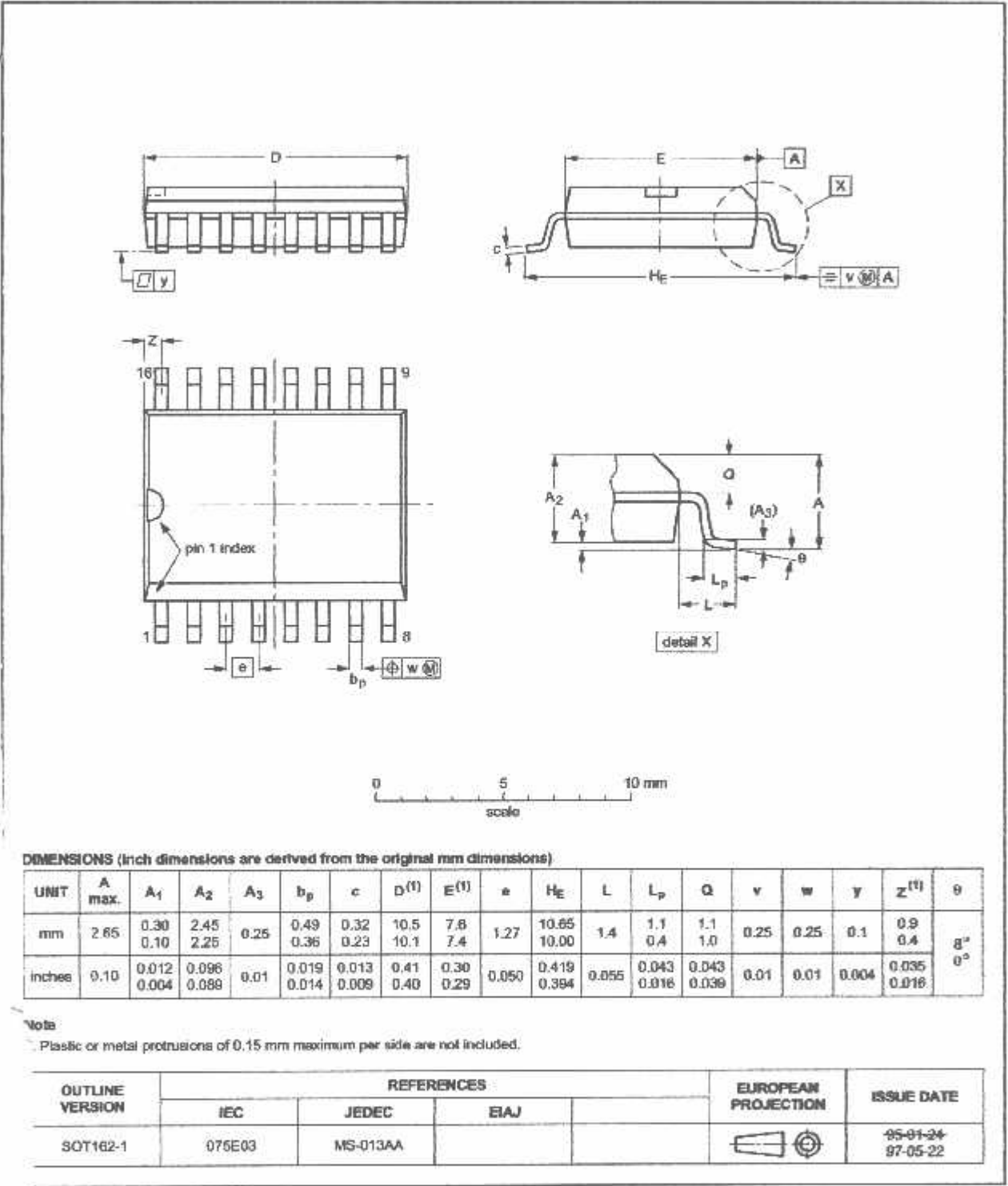
OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ			
SOT38-1	050G09	MO-001AE				92-10-02 95-01-19

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

SO16: plastic small outline package; 16 leads; body width 7.5 mm

SOT162-1



8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

17 SOLDERING

17.1 Introduction

There is no soldering method that is ideal for all IC packages. Wave soldering is often preferred when through-hole and surface mounted components are mixed on one printed-circuit board. However, wave soldering is not always suitable for surface mounted ICs, or for printed-circuits with high population densities. In these situations reflow soldering is often used.

This text gives a very brief insight to a complex technology. A more in-depth account of soldering ICs can be found in our *"Data Handbook IC26; Integrated Circuit Packages"* (order code 9398 652 90011).

17.2 DIP

17.2.1 SOLDERING BY DIPPING OR BY WAVE

The maximum permissible temperature of the solder is 260 °C; solder at this temperature must not be in contact with the joint for more than 5 seconds. The total contact time of successive solder waves must not exceed 5 seconds.

The device may be mounted up to the seating plane, but the temperature of the plastic body must not exceed the specified maximum storage temperature ($T_{stg\ max}$). If the printed-circuit board has been pre-heated, forced cooling may be necessary immediately after soldering to keep the temperature within the permissible limit.

17.2.2 REPAIRING SOLDERED JOINTS

Apply a low voltage soldering iron (less than 24 V) to the lead(s) of the package, below the seating plane or not more than 2 mm above it. If the temperature of the soldering iron bit is less than 300 °C it may remain in contact for up to 10 seconds. If the bit temperature is between 300 and 400 °C, contact may be up to 5 seconds.

17.3 SO

17.3.1 REFLOW SOLDERING

Reflow soldering techniques are suitable for all SO packages.

Reflow soldering requires solder paste (a suspension of solder particles, flux and binding agent) to be applied to the printed-circuit board by screen printing, stencilling or syringe-syringe dispensing before package placement.

Several techniques exist for reflowing; for example, thermal conduction by heated belt. Dwell times vary between 50 and 300 seconds depending on heating method. Typical reflow temperatures range from 215 to 250 °C.

Preheating is necessary to dry the paste and evaporate the binding agent. Preheating duration: 45 minutes at 45 °C.

17.3.2 WAVE SOLDERING

Wave soldering techniques can be used for all SO packages if the following conditions are observed:

- A double-wave (a turbulent wave with high upward pressure followed by a smooth laminar wave) soldering technique should be used.
- The longitudinal axis of the package footprint must be parallel to the solder flow.
- The package footprint must incorporate solder thieves at the downstream end.

During placement and before soldering, the package must be fixed with a droplet of adhesive. The adhesive can be applied by screen printing, pin transfer or syringe dispensing. The package can be soldered after the adhesive is cured.

Maximum permissible solder temperature is 260 °C, and maximum duration of package immersion in solder is 10 seconds, if cooled to less than 150 °C within 6 seconds. Typical dwell time is 4 seconds at 250 °C.

A mildly-activated flux will eliminate the need for removal of corrosive residues in most applications.

17.3.3 REPAIRING SOLDERED JOINTS

Fix the component by first soldering two diagonally-opposite end leads. Use only a low voltage soldering iron (less than 24 V) applied to the flat part of the lead. Contact time must be limited to 10 seconds at up to 300 °C. When using a dedicated tool, all other leads can be soldered in one operation within 2 to 5 seconds between 270 and 320 °C.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

18 DEFINITIONS

Data sheet status	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
Limiting values	
Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
Application information	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	

19 LIFE SUPPORT APPLICATIONS

These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.

20 PURCHASE OF PHILIPS I²C COMPONENTS



Purchase of Philips I²C components conveys a license under the Philips' I²C patent to use the components in the I²C system provided the system conforms to the I²C specification defined by Philips. This specification can be ordered using the code 9398 393 40011.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

NOTES

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

NOTES

Philips Semiconductors – a worldwide company

Argentina: see South America

Australia: 34 Waterloo Road, NORTH RYDE, NSW 2113,
Tel. +61 2 9805 4455, Fax. +61 2 9805 4466

Austria: Computrstr. 6, A-1101 WIEN, P.O. Box 213, Tel. +43 160 1010,
Fax. +43 160 101 1210

Belarus: Hotel Minsk Business Center, Bld. 3, r. 1211, Volodarski Str. 6,
220050 MINSK, Tel. +375 172 200 733, Fax. +375 172 200 773

Belgium: see The Netherlands

Brazil: see South America

Bulgaria: Philips Bulgaria Ltd., Energoprojekt, 15th floor,
51 James Bourchier Blvd., 1407 SOFIA,
Tel. +359 2 689 211, Fax. +359 2 689 102

Canada: PHILIPS SEMICONDUCTORS/COMPONENTS,
Tel. +1 800 234 7381

China/Hong Kong: 501 Hong Kong Industrial Technology Centre,
72 Tai Chee Avenue, Kowloon Tong, HONG KONG,
Tel. +852 2319 7888, Fax. +852 2319 7700

Colombia: see South America

Czech Republic: see Austria

Denmark: Prags Boulevard 80, PB 1919, DK-2300 COPENHAGEN S,
Tel. +45 32 88 2636, Fax. +45 31 57 0044

Finland: Sinkallontie 3, FIN-02530 ESPOO,
Tel. +358 9 615800, Fax. +358 9 61580920

France: 51 Rue Camot, BP317, 92156 SURESNES Cedex,
Tel. +33 1 40 89 6161, Fax. +33 1 40 99 6427

Germany: Hammerbrookstraße 89, D-20087 HAMBURG,
Tel. +49 40 23 53 60, Fax. +49 40 23 536 300

Greece: No. 15, 25th March Street, GR 17778 TAYROS/ATHENS,
Tel. +30 1 4894 339/239, Fax. +30 1 4814 240

Hungary: see Austria

India: Philips INDIA Ltd, Band Box Building, 2nd floor,
254-D, Dr. Annie Besant Road, Worli, MUMBAI 400 025,
Tel. +91 22 493 8541, Fax. +91 22 493 0866

Indonesia: PT Philips Development Corporation, Semiconductors Division,
Gedung Philips, Jl. Buncit Raya Kav.99-100, JAKARTA 12510,
Tel. +62 21 794 0040 ext. 2501, Fax. +62 21 794 0090

Ireland: Newstead, Clonsillaagh, DUBLIN 14,
Tel. +353 1 7640 000, Fax. +353 1 7640 200

Israel: RAPAC Electronics, 7 Kehilat Saloniki St, PO Box 18053,
TEL AVIV 61180, Tel. +972 3 645 0444, Fax. +972 3 649 1007

Italy: PHILIPS SEMICONDUCTORS, Piazza IV Novembre 3,
20124 MILANO, Tel. +39 2 6752 2531, Fax. +39 2 6752 2557

Japan: Philips Bldg 13-37, Kohsan 2-chome, Minato-ku,
TOKYO 108-8507, Tel. +81 3 3740 5130, Fax. +81 3 3740 5077

Korea: Philips House, 260-199 Itaewon-dong, Yongsan-ku, SEOUL,
Tel. +82 2 709 1412, Fax. +82 2 709 1415

Malaysia: No. 76 Jalan Universiti, 46200 PETALING JAYA, SELANGOR,
Tel. +60 3 750 5214, Fax. +60 3 757 4890

Mexico: 5900 Gateway East, Suite 200, EL PASO, TEXAS 79905,
Tel. +9-5 800 234 7381

Middle East: see Italy

Netherlands: Postbus 90050, 5600 PB EINDHOVEN, Bldg. V8,
Tel. +31 40 27 82765, Fax. +31 40 27 88399

New Zealand: 2 Wagener Place, C.P.O. Box 1041, AUCKLAND,
Tel. +64 9 849 4160, Fax. +64 9 849 7811

Norway: Box 1, Manglerud 0612, OSLO,
Tel. +47 22 74 8000, Fax. +47 22 74 8341

Pakistan: see Singapore

Philippines: Philips Semiconductors Philippines Inc.,
106 Valero St. Salcedo Village, P.O. Box 2106 MCC, MAKATI,
Metro MANILA, Tel. +63 2 816 6380, Fax. +63 2 817 3474

Poland: Ul. Lukiska 10, PL 04-123 WARSZAWA,
Tel. +48 22 612 2831, Fax. +48 22 612 2327

Portugal: see Spain

Romania: see Italy

Russia: Philips Russia, Ul. Usatcheva 35A, 119048 MOSCOW,
Tel. +7 095 755 6918, Fax. +7 095 755 6919

Singapore: Lorong 1, Toa Payoh, SINGAPORE 319762,
Tel. +65 350 2538, Fax. +65 251 6500

Slovakia: see Austria

Slovenia: see Italy

South Africa: S.A. PHILIPS Pty Ltd., 195-215 Main Road Martindale,
2092 JOHANNESBURG, P.O. Box 7430 Johannesburg 2000,
Tel. +27 11 470 5911, Fax. +27 11 470 5494

South America: Al. Vicente Pinzon, 173, 8th floor,
04547-130 SÃO PAULO, SP, Brazil,
Tel. +55 11 821 2333, Fax. +55 11 821 2382

Spain: Balma 22, 08007 BARCELONA,
Tel. +34 93 301 6312, Fax. +34 93 301 4107

Sweden: Kottbygatan 7, Akalla, S-16485 STOCKHOLM,
Tel. +46 8 5885 2000, Fax. +46 8 5885 2745

Switzerland: Allmendstrasse 140, CH-8027 ZÜRICH,
Tel. +41 1 488 2741 Fax. +41 1 488 3263

Taiwan: Philips Semiconductors, 6F, No. 96, Chien Kuo N. Rd., Sec. 1,
TAIPEI, Taiwan Tel. +886 2 2134 2665, Fax. +886 2 2134 2674

Thailand: PHILIPS ELECTRONICS (THAILAND) Ltd.,
209/2 Sanpavuth-Bangna Road Prakanong, BANGKOK 10260,
Tel. +66 2 745 4090, Fax. +66 2 398 0793

Turkey: Talatpasa Cad. No. 5, 80640 GÖLTEPE/ISTANBUL,
Tel. +90 212 279 2770, Fax. +90 212 282 6707

Ukraine: PHILIPS UKRAINE, 4 Patrice Lumumba str., Building B, Floor 7,
252042 KIEV, Tel. +380 44 284 2776, Fax. +380 44 288 0461

United Kingdom: Philips Semiconductors Ltd., 276 Bath Road, Hayes,
MIDDLESEX UB3 5BX, Tel. +44 181 730 5000, Fax. +44 181 754 8421

United States: 811 East Arques Avenue, SUNNYVALE, CA 94088-3409,
Tel. +1 800 234 7381

Uruguay: see South America

Vietnam: see Singapore

Yugoslavia: PHILIPS, Trg N. Pasic 5/v, 11000 BEOGRAD,
Tel. +381 11 625 344, Fax. +381 11 635 777

For all other countries apply to: Philips Semiconductors,
International Marketing & Sales Communications, Building BE-p, P.O. Box 218,
5600 MD EINDHOVEN, The Netherlands, Fax. +31 40 27 24825

Internet: <http://www.semiconductors.philips.com>

© Philips Electronics N.V. 1998

SCA60

All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.

The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent- or other industrial or intellectual property rights.

Printed in The Netherlands

415108/1200/04/pp28

Date of release: 1998 Jul 02

Document order number: 9397 730 04058

hilips
emiconductors



PHILIPS

Let's make things better.

6.PCF8574

DATA SHEET



PCF8574

Remote 8-bit I/O expander for
I²C-bus

Product specification
Supersedes data of 2002 Jul 29

2002 Nov 22

ilips
micconductors



PHILIPS

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

CONTENTS

	FEATURES
	GENERAL DESCRIPTION
	ORDERING INFORMATION
	BLOCK DIAGRAM
	PINNING
1	DIP16 and SO16 packages
2	SSOP20 package
	CHARACTERISTICS OF THE I ² C-BUS
1	Bit transfer
2	Start and stop conditions
3	System configuration
4	Acknowledge
	FUNCTIONAL DESCRIPTION
1	Addressing
2	Interrupt output
3	Quasi-bidirectional I/Os
	LIMITING VALUES
	HANDLING
0	DC CHARACTERISTICS
1	I ² C-BUS TIMING CHARACTERISTICS
2	PACKAGE OUTLINES
3	SOLDERING
3.1	Introduction
3.2	Through-hole mount packages
3.2.1	Soldering by dipping or by solder wave
3.2.2	Manual soldering
3.3	Surface mount packages
3.3.1	Reflow soldering
3.3.2	Wave soldering
3.3.3	Manual soldering
3.4	Suitability of IC packages for wave, reflow and dipping soldering methods
4	DATA SHEET STATUS
5	DEFINITIONS
6	DISCLAIMERS
7	PURCHASE OF PHILIPS I ² C COMPONENTS

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

FEATURES

- Operating supply voltage 2.5 to 6 V
- Low standby current* consumption of 10 µA maximum
- I²C-bus to parallel port expander
- Open-drain interrupt output
- 8-bit remote I/O port for the I²C-bus
- Compatible with most microcontrollers
- Latched outputs with high current drive capability for directly driving LEDs
- Address by 3 hardware address pins for use of up to 8 devices (up to 15 with PCF8574A)
- DIP16, or space-saving SO16 or SSOP20 packages.



The device consists of an 8-bit quasi-bidirectional port and an I²C-bus interface. The PCF8574 has a low current consumption and includes latched outputs with high current drive capability for directly driving LEDs. It also possesses an interrupt line (INT) which can be connected to the interrupt logic of the microcontroller. By sending an interrupt signal on this line, the remote I/O can inform the microcontroller if there is incoming data on its ports without having to communicate via the I²C-bus. This means that the PCF8574 can remain a simple slave device.

GENERAL DESCRIPTION

The PCF8574 is a silicon CMOS circuit. It provides general purpose remote I/O expansion for most microcontroller families via the two-line bidirectional bus (I²C-bus).

The PCF8574 and PCF8574A versions differ only in their slave address as shown in Fig.10.

ORDERING INFORMATION

TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	VERSION
PCF8574P; PCF8574AP	DIP16	plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil)	SOT38-4
PCF8574T; PCF8574AT	SO16	plastic small outline package; 16 leads; body width 7.5 mm	SOT162-1
PCF8574TS; PCF8574ATS	SSOP20	plastic shrink small outline package; 20 leads; body width 4.4 mm	SOT266-1

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

BLOCK DIAGRAM

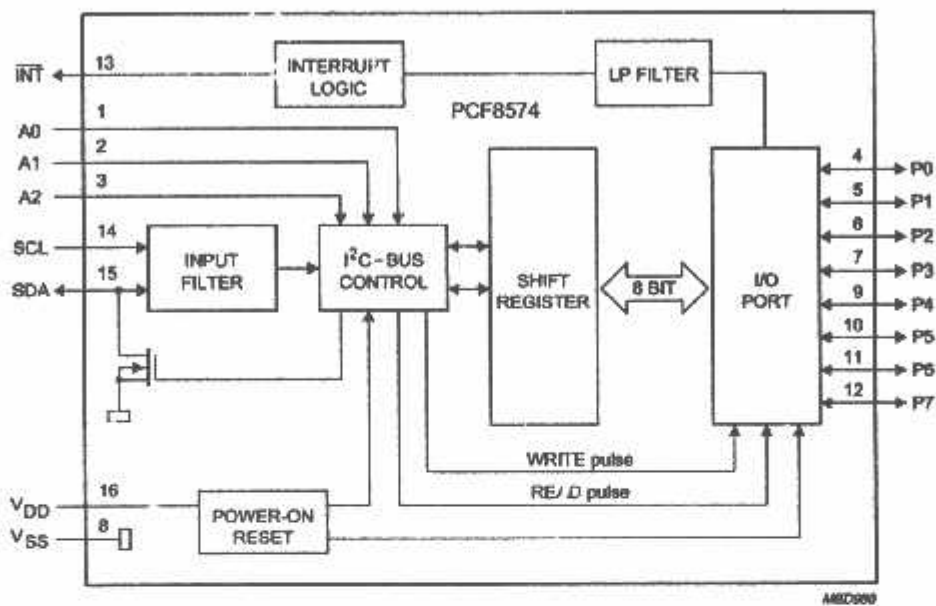


Fig.1 Block diagram (pin numbers apply to DIP16 and SO16 packages).

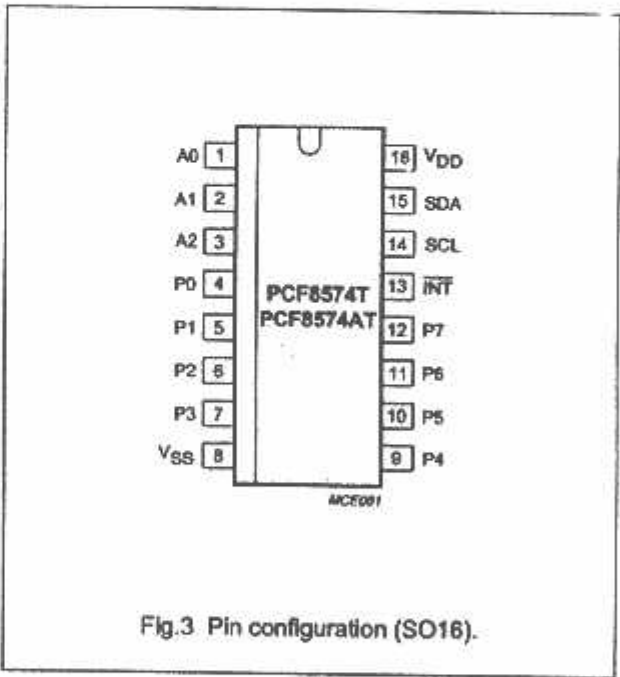
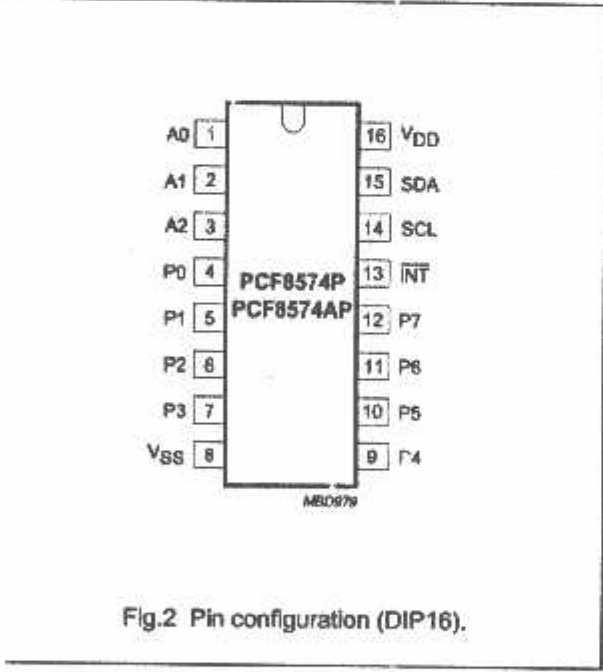
Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

5 PINNING

5.1 DIP16 and SO16 packages

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
A0	1	address input 0
A1	2	address input 1
A2	3	address input 2
P0	4	quasi-bidirectional I/O 0
P1	5	quasi-bidirectional I/O 1
P2	6	quasi-bidirectional I/O 2
P3	7	quasi-bidirectional I/O 3
V _{SS}	8	supply ground
P4	9	quasi-bidirectional I/O 4
P5	10	quasi-bidirectional I/O 5
P6	11	quasi-bidirectional I/O 6
P7	12	quasi-bidirectional I/O 7
INT	13	interrupt output (active LOW)
SCL	14	serial clock line
SDA	15	serial data line
V _{DD}	16	supply voltage



Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

2 SSOP20 package

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
INT	1	interrupt output (active LOW)
SCL	2	serial clock line
n.c.	3	not connected
SDA	4	serial data line
V _{DD}	5	supply voltage
A0	6	address input 0
A1	7	address input 1
n.c.	8	not connected
A2	9	address input 2
P0	10	quasi-bidirectional I/O 0
P1	11	quasi-bidirectional I/O 1
P2	12	quasi-bidirectional I/O 2
n.c.	13	not connected
P3	14	quasi-bidirectional I/O 3
V _{SS}	15	supply ground
P4	16	quasi-bidirectional I/O 4
P5	17	quasi-bidirectional I/O 5
n.c.	18	not connected
P6	19	quasi-bidirectional I/O 6
P7	20	quasi-bidirectional I/O 7

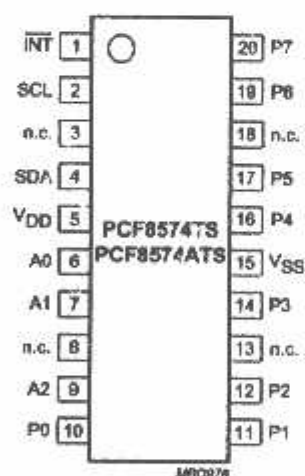


Fig.4 Pin configuration (SSOP20).

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

CHARACTERISTICS OF THE I²C-BUS

The I²C-bus is for 2-way, 2-line communication between different ICs or modules. The two lines are a serial data line (SDA) and a serial clock line (SCL). Both lines must be connected to a positive supply via a pull-up resistor when connected to the output stages of a device. Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.

1 Bit transfer

The data bit is transferred during each clock pulse. The data on the SDA line must remain stable during the HIGH period of the clock pulse as changes in the data line at this time will be interpreted as control signals (see Fig.5).

6.2 Start and stop conditions

Both data and clock lines remain HIGH when the bus is not busy. A HIGH-to-LOW transition of the data line, while the clock is HIGH is defined as the start condition (S). A LOW-to-HIGH transition of the data line while the clock is HIGH is defined as the stop condition (P) (see Fig.6).

6.3 System configuration

A device generating a message is a 'transmitter', a device receiving is the 'receiver'. The device that controls the message is the 'master' and the devices which are controlled by the master are the 'slaves' (see Fig.7).

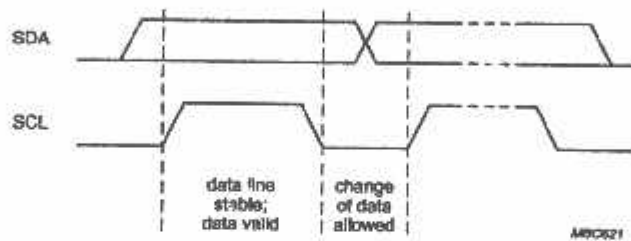


Fig.5 Bit transfer.

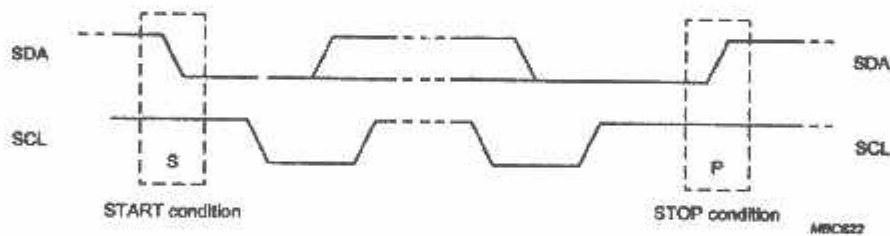


Fig.6 Definition of start and stop conditions.

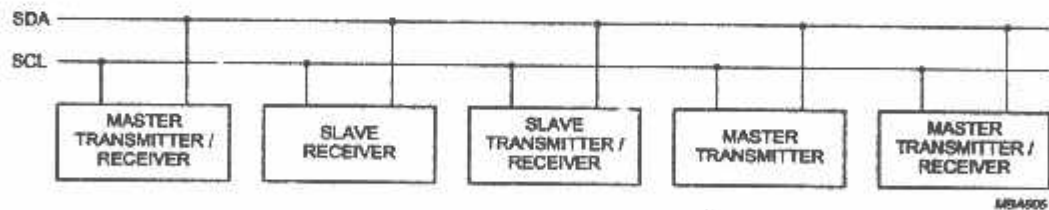


Fig.7 System configuration.

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

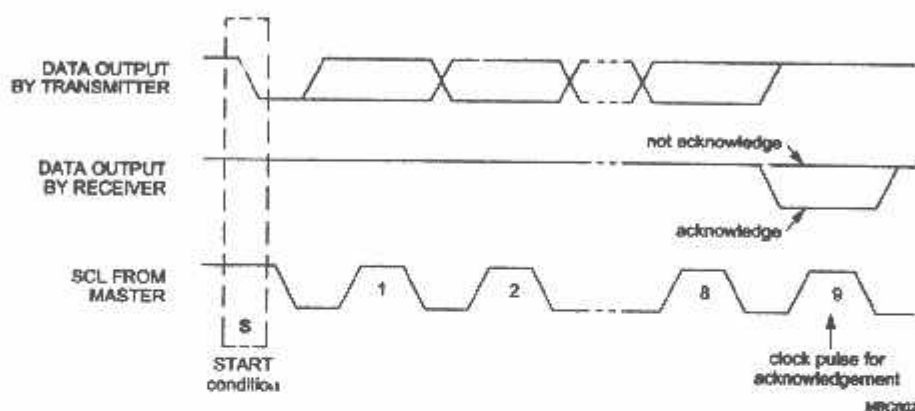
4 Acknowledge

The number of data bytes transferred between the start and the stop conditions from transmitter to receiver is not limited. Each byte of eight bits is followed by one acknowledge bit (see Fig.8). The acknowledge bit is a HIGH level put on the bus by the transmitter whereas the master generates an extra acknowledge related clock pulse.

A slave receiver which is addressed must generate an acknowledge after the reception of each byte. Also a master must generate an acknowledge after the reception

of each byte that has been clocked out of the slave transmitter. The device that acknowledges has to pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse, so that the SDA line is stable LOW during the HIGH period of the acknowledge related clock pulse, set-up and hold times must be taken into account.

A master receiver must signal an end of data to the transmitter by not generating an acknowledge on the last byte that has been clocked out of the slave. In this event the transmitter must leave the data line HIGH to enable the master to generate a stop condition.

Fig.8 Acknowledgment on the I²C-bus.

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

FUNCTIONAL DESCRIPTION

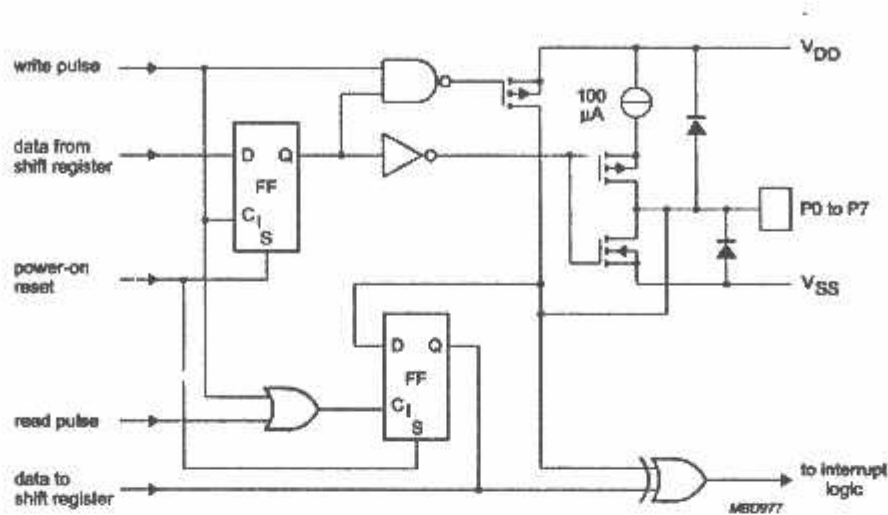


Fig.9 Simplified schematic diagram of each I/O.

1 Addressing

For addressing see Figs 10, 11 and 12.

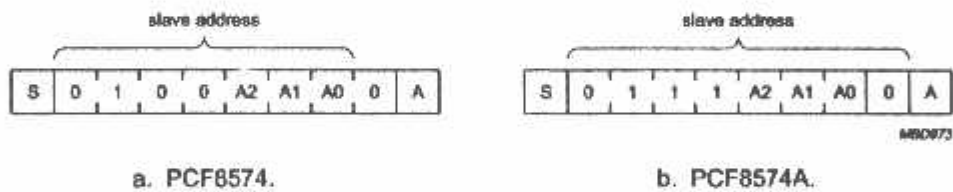


Fig.10 PCF8574 and PCF8574A slave addresses.

Each of the PCF8574's eight I/Os can be independently used as an input or output. Input data is transferred from the port to the microcontroller by the READ mode (see Fig.12). Output data is transmitted to the port by the WRITE mode (see Fig.11).

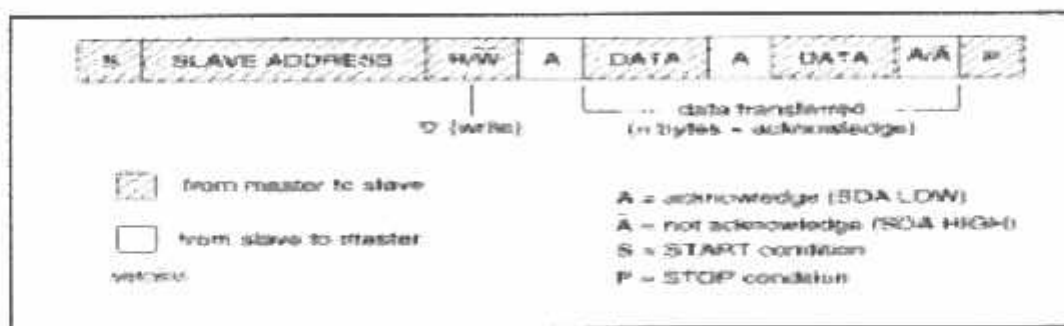


Gambar 2.5.

Format address byte

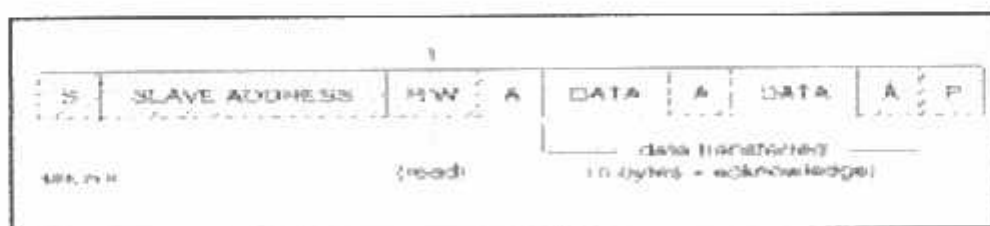
Ada dua jenis komunikasi dasar dalam I2C bus yaitu :

- Master-transmitter menulis data ke slave-receiver yang teralamat
- Master-receiver membaca data dari slave-transmitter yang teralamat .



Gambar 2.6.

Transfer data lengkap PC bus Master-transmitter menulis data ke slave-receiver yang teralamat



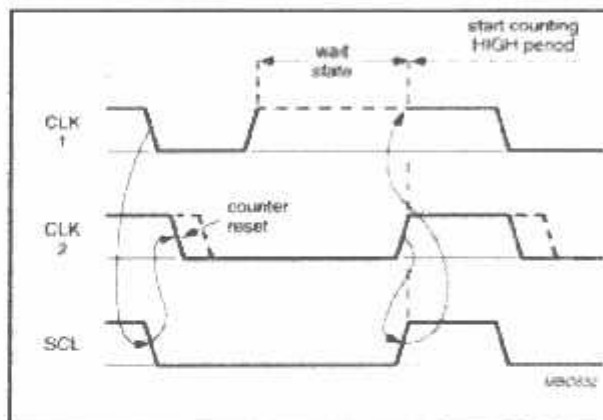
Gambar 2.7.

Master-receiver membaca data dari slave-transmitter yang teralamat

f. Multi Master

Pada I²C bus bisa terjadi situasi dimana lebih dari 1 device mengambil inisiatif transfer data sebagai Master, dengan protocol Master/slave dan karakter hardware open drain/open collector yang bersifat wired AND, hal ini tidak menyebabkan terjadinya korupsi data, inilah yang disebut dengan Multi Master. Untuk dapat melakukan Multi Master ada 2 hal yang penting yaitu Clock Synchronization dan Arbitration.

g. Clock Synchronization



Gambar 2.8.

Clok Synchronization

Karena sifat wired AND dari I²C bus, dimana jika salah satu device menarik bus dalam kondisi low maka device lain tidak dapat membuat bus tersebut menjadi high (sifat dari logika AND), sehingga jika ada lebih dari satu device yang melakukan inisiatif transfer data sebagai Master dengan membangkitkan sinyal clock pada SCL pada saat yang bersamaan harus ada sinkronisasi clock yang dapat dijelaskan (seperti terlihat pada gambar 2.6. dan 2.7. diatas) sebagai berikut :

Sehingga sinkronisasi clock yang terbentuk sbb:

- Periode low akan mengikuti periode low dari device yang membangkitkan sinyal clock dengan periode low yang terpanjang.
- Periode high akan mengikuti periode high dari device yang membangkitkan sinyal clock dengan periode high yang terpendek.

h. Arbitration

Dalam Multi Master, bisa terjadi kemungkinan lebih dari satu device melakukan inisiatif transfer data menjadi Master, walaupun transfer data hanya bisa dilakukan jika kondisi bus bebas, tetapi sangat memungkinkan lebih dari satu device mendeteksi kondisi bus sebagai bebas dan membangkitkan kondisi START sedikit berselisih waktu tetapi masih dalam batas-batas kondisi START yang valid. Untuk kondisi seperti dijelaskan diatas, maka arbitration diberlakukan bit demi bit hingga selesai, dimana sekali lagi sifat/karakter bus yang wired AND memungkinkan hal tersebut terjadi.

Untuk jelasnya perhatikan gambar 2.8 diatas yang dapat dijelaskan sebagai berikut

- Ambil contoh Master 1 (Data 1) akan mentrasfer data 101xxxxxB sedangkan Master 2 (Data 2) akan mentransfer data 100101xxB.
- Kedua Master mendeteksi bus dalam keadaan bebas, dan membangkitkan sinyal START yang hampir bersamaan. Master 1 lebih dahulu membangkitkan START sehingga kondisi SDA mengikuti Master 1, baru kemudian Master 2 membangkitkan START, tetapi kondisi START pada SDA masih valid untuk Master2.

- Kedua Master mentransfer MSbit (sama-sama "1"), kemudian data bit berikutnya (sama-sama "0"), pada bit yang berikutnya Master1 berusaha untuk membuat SDA high sesuai dengan data bit-nya, sedangkan Master 2 berusaha untuk membuat SDA low (sesuai dengan data bit-nya), karena sifat wired AND dari SDA, maka kondisi SDA menjadi low, karena itu Master 1 dikatakan kehilangan arbitrase (dengan kata lain bisa disebut sebagai kehilangan kontrol) atas SDA.
- Bagi Master 1 yang kehilangan arbitrase bisa terus membangkitkan sinyal clock sampai transfer data selesai dan bus dalam kondisi bebas lagi, bagi Master 2 yang memenangkan arbitrase (mendapat kontrol) atas SDA dapat menyelesaikan transfer data-nya tanpa ada data yang terkorupsi sama sekali.

2.1.7 Kesimpulan

Komunikasi I²C dapat memenuhi target desain elektronika saat ini, dengan karakter hardware dan master/slave protocol yang sederhana tetapi tangguh.

Jika digunakan device yang telah dilengkapi dengan kemampuan I²C secara built-in, akan sangat mudah untuk melaksanakan komunikasi baik single Master maupun multi Master, tetapi bagi device yang tidak, masih dapat mengemulasikan I²C protocol pada pin-pin I/O-nya asalkan memenuhi syarat karakter hardware dengan cukup mudah untuk single Master tetapi sedikit rumit untuk multi Master.

2.2. Mikrokontroller AT89C51

Perbedaan mendasar antara mikrokontroller dan mikroprosesor adalah mikrokontroller selain memiliki CPU juga dilengkapi dengan memori input-output yang merupakan kelengkapan sebagai sistem minimum mikrokomputer sehingga sebuah mikrokontroller dapat dikatakan sebagai mikrokomputer dalam keping tunggal (*single chip Microcomputer*) yang dapat berdiri sendiri.

Mikrokontroller AT89C51 adalah mikrokontroller ATMEL yang kompatibel penuh dengan mikrokontroller keluarga MCS-51, membutuhkan daya yang rendah, memiliki performa yang tinggi dan merupakan mikrokomputer 8 bit yang dilengkapi 4 Kbyte EPROM (*Erasable and Programmable Read Only Memori*) dan 128 byte RAM internal. Program memori dapat diprogram ulang dalam sistem atau dengan menggunakan Program *Nonvolately Memory Konvensional*.

Dalam sistem mikrokontroller terdapat dua hal yang mendasar, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak yang keduanya saling terkait dan mendukung. Berikut ini adalah tabel keluarga mikrokontroller MCS- 51, dapat dilihat bahwa mikrokontroller 8031 merupakan versi tanpa EPROM dari mikrokontroller 8051

Tabel 2.1. Keluarga Mikrokontroller MCS- 51

PART NUMBER	ON- CHIP CODE MEMORY	ON CHIP DATA MEMORY	TIMER
8051	4K ROM	128 BYTES	2
8031	0K	128 BYTES	2
8751	4K EPROM	128 BYTES	2
8052	8K ROM	256 BYTES	3
8032	0K	256 BYTES	3
8752	8K EPROM	256 BYTES	3
AT89C51	4K EPROM	128 BYTES	2

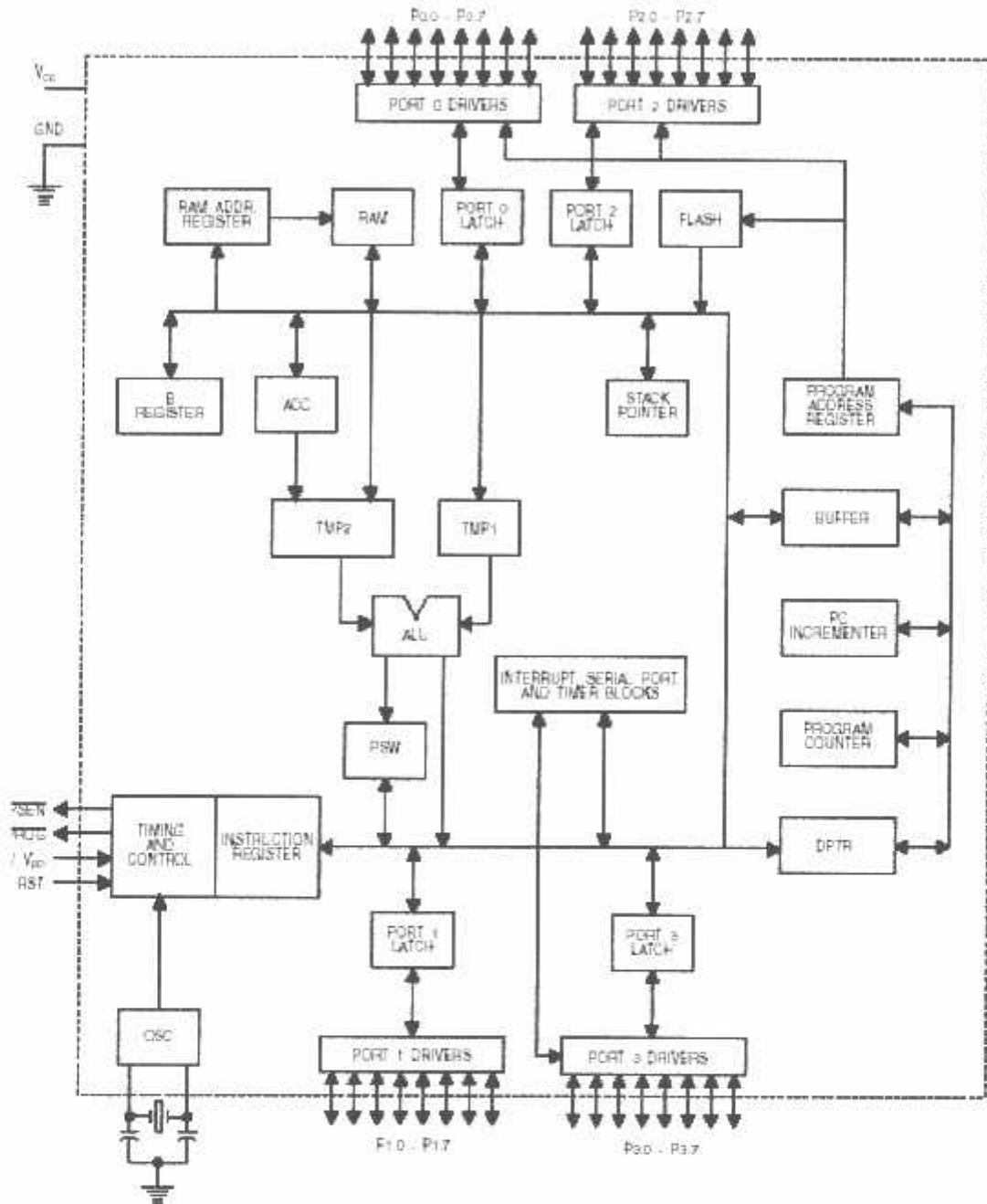
Sumber : Data Sheet AT89C51

2.2.1. Arsitektur AT89C51

Sebagai *single chip* yaitu suatu sistem mikroprosesor yang terintegrasi, mikrokontroler AT89C51 mempunyai konfigurasi sebagai berikut:

1. CPU 8 bit termasuk keluarga MCS-51.
2. 4 Kbyte alamat untuk *memory program internal* (EPROM).
3. 128 byte *memory data* dalam (*Internal Data memory* / RAM).
4. 8 bit *program status word* (PSW).
5. 8 bit *stack pointer* (SP).
6. 32 pin I/O tersusun yaitu port 0-port 3 @ 8 bit.
7. 2 buah *timer / counter* 16 bit.
8. Data *serial full duplex*.
9. *Control register*.
10. 5 sumber *interrupt*.
11. Rangkaian osilator dan *clock*.

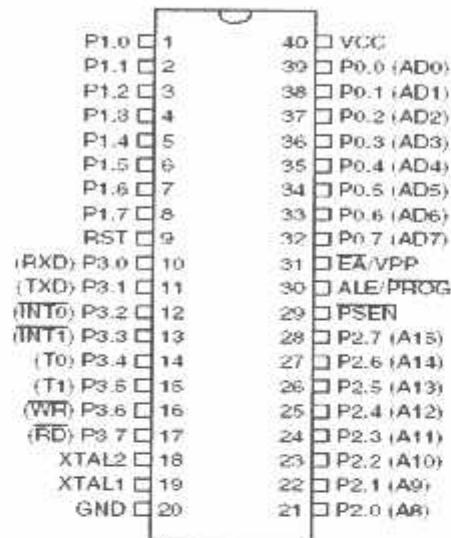
Arsitektur dasar dari mikrokontroller AT89C51 seperti diagram blok berikut ini:



Gambar 2.9. Blok Diagram AT89C51
Sumber : Data Sheet AT89C51

2.2.2. Fungsi Pin Mikrokontroller AT89C51

Susunan pin-pin mikrokontroller AT89C51 diperlihatkan pada Gambar 2.3, dan penjelasan dari masing-masing pin adalah sebagai berikut :



Gambar 2.10. Pin/kaki dari IC AT89C51

Sumber : Data Sheet AT89C51

1. Port 0

Port 0 merupakan port dua fungsi yang berada pada pin 32-39 dari IC AT89C51. Merupakan port I/O 8 bit dua arah yang serba guna port ini dapat digunakan sebagai *multipleks bus* data dan bus alamat rendah untuk pengaksesan memori eksternal.

2. Port 1

Port 1 merupakan port I/O yang berada pada pin 1-8. Port ini dapat bekerja dengan baik untuk operasi bit maupun byte, tergantung dari pengaturan pada software.

3. Port 2

Port 2 merupakan port I/O serba guna yang berada pada pin 21- 28, port ini dapat juga digunakan sebagai bus alamat byte tinggi untuk rancangan yang melibatkan pengaksesan memori eksternal.

4. Port 3

Port 3 merupakan port I/O yang memiliki dua fungsi yang berada pada pin 10-17, port ini mempunyai multi fungsi, seperti yang terdapat pada Tabel 2.2 berikut :

Tabel 2.2. Fungsi Alternatif Port 3

BIT	NAMA	BIT ADDRES	FUNGSI ALTERNATIF
P3.0	RXD	B0H	Penerima data pada port serial
P3.1	TXD	B1H	Pemancar data pada port serial
P3.2	INT0	B2H	Eksternal interupsi 0
P3.3	INT 1	B3H	Eksternal interupsi 1
P3.4	T0	B4H	Input Timer/ counter eksternal
P3.5	T1	B5H	Input Timer / counter
P3.6	WR	B6H	Sinyal pembacaan memori data eksternal
P3.7	RD	B7H	Sinyal penulisan memori data eksternal

Sumber : Data Sheet AT89C51

5. PSEN (*Programable Store Enable*)

PSEN adalah sebuah sinyal keluaran yang terdapat pada pin 29. Fungsinya adalah sebagai sinyal kontrol untuk memungkinkan mikrokontroller membaca program (*code*) dari memori eksternal atau dapat dikatakan sebagai sinyal kontrol yang menghubungkan memori program eksternal dengan bus selama pengaksesan.

6. ALE (*Address Latch Enable*)

Sinyal output ALE yang berada pada pin 30 fungsinya sama dengan ALE pada mikroprosesor INTEL 8085 atau 8088. Sinyal ALE dipergunakan untuk

demultiplex bus alamat dan bus data. Dan untuk menahan alamat memori eksternal selama pelaksanaan instruksi.

7. EA (*External Acces*)

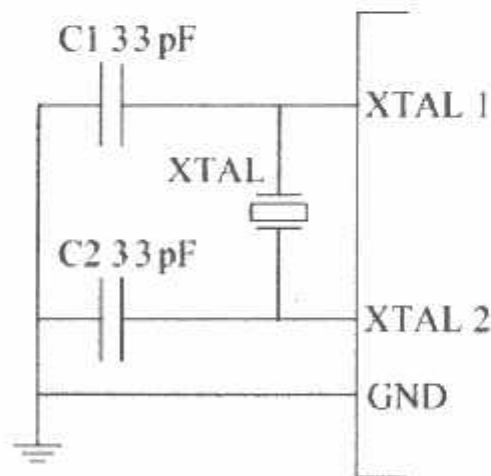
Maksudnya sinyal EA terdapat pada pin 31 yang dapat diberikan logika rendah (*ground*) atau logika tinggi (+5V). Jika EA diberikan logika tinggi maka mikrokontroller akan mengakses program dari ROM internal (EPROM/ *flash memori*). Jika EA diberi logika rendah maka mikrokontroller akan mengakses program dari memori eksternal.

8. RST (*Reset*)

Input *reset* pada pin 9 adalah reset master untuk AT89C51. Perubahan tegangan dari rendah ke tinggi akan mereset AT89C51.

9. Osilator

Osilator yang disediakan pada chip dikemudikan dengan kristal yang dihubungkan pada pin 18 (X2) dan pin 19 (X1) sebesar 12 Mhz.



Gambar 2.11. Osilator Eksternal AT89C51

Sumber : Data Sheet AT89C51

10.Power

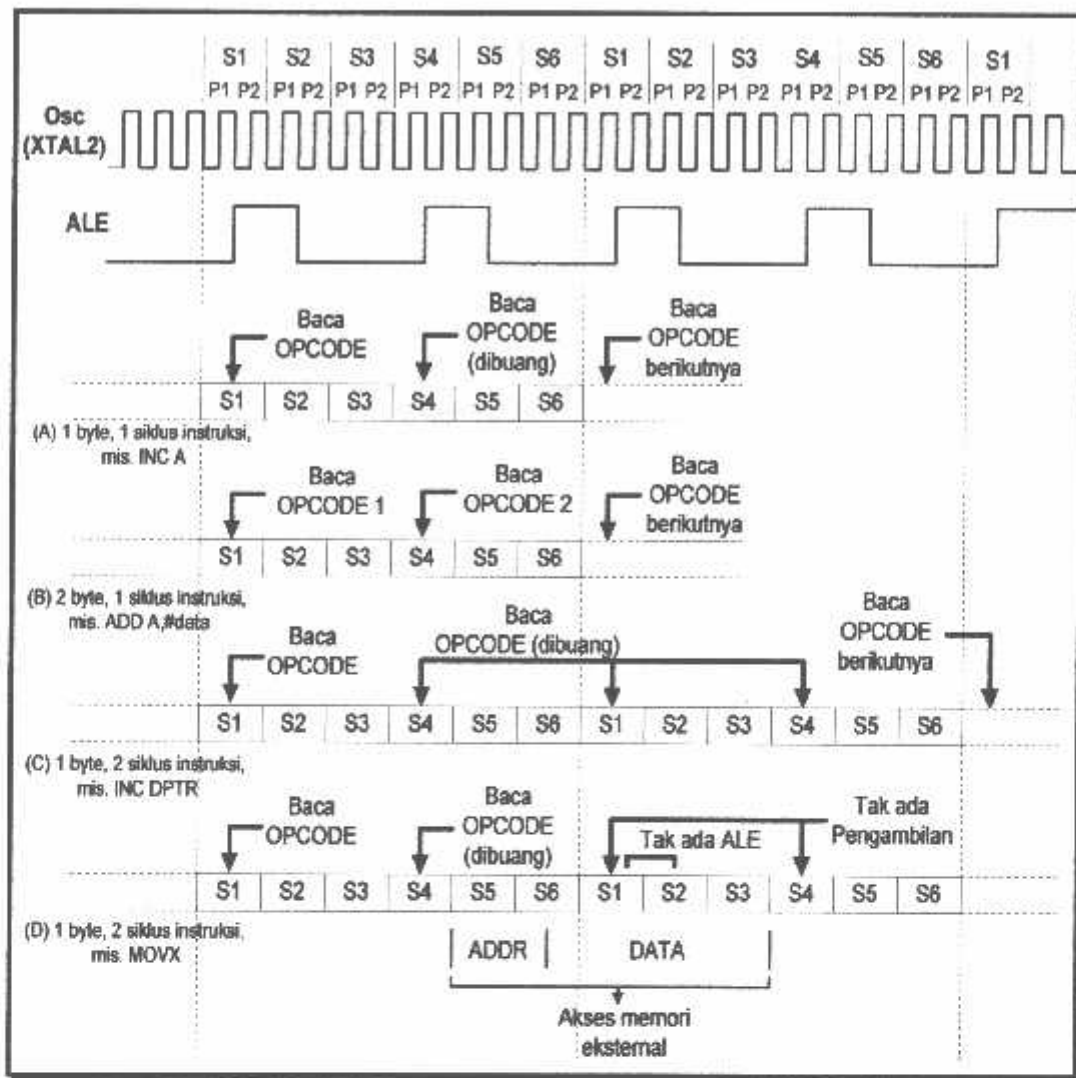
AT89C51 dioperasikan dengan tegangan supply +5V, pin Vcc berada pada pin 40 dan Vss (*ground*) pada pin 20.

2.2.3. Siklus Mesin

Satu siklus mesin terdiri atas 6 kondisi yang berurutan dan diberi nomor S1 sampai S6. Lama waktu untuk masing – masing kondisi adalah sebesar dua periode oscilatornya, jadi satu siklus mesin membutuhkan waktu sebesar 12 periode oscilator atau sebesar 1 μ detik untuk frekuensi oscilator sebesar 12 MHz. Gambar 2.5 menunjukkan kondisi dan tahapan dalam pelaksanaan beberapa macam instruksi.

Pada kondisi normal terjadi dua pengambilan *opcode* dalam satu siklus mesin, walaupun instruksi yang dieksekusi tidak membutuhkannya. Jika instruksi yang dieksekusi tidak membutuhkan *opcode* lagi, CPU akan mengabaikan pengambilan *opcode* berikutnya dan cacahan *Program Counter* tidak akan dinaikkan.

Pembacaan memori program eksternal pada mikrokontroller AT89C51 ditandai dengan aktifnya sinyal $\overline{\text{PSEN}}$. Sinyal $\overline{\text{PSEN}}$ normalnya diaktifkan dua kali per-siklus mesin kecuali saat instruksi yang dieksekusi berupa pengaksesan data dari memori data eksternal.



Gambar 2.12. Diagram waktu pelaksanaan instruksi MCS 51
 Sumber : Data Sheet AT89C51

2.2.4. Organisasi Memori

Mikrokontroler AT89C51 mengimplementasikan ruang memori yang terpisah antara program (*code*) dan data. Seperti ditunjukkan pada Tabel 2.3, program data keduanya bisa merupakan memori internal, tetapi keduanya dapat diperluas dengan memori eksternal sampai 64 Kb memori program dan 64 Kb memori data.

Memori internal terdiri dari ROM / flash memori dan RAM data didalam chip. RAM berisi susunan *general purposes storage*, *bit addressable storage*, *register bank* dan *special function register*. Ruang internal pada mikrokontroller AT89C51 dibagi menjadi:

1. Register bank (00H-1FH), bit addressable.
2. Bit addressable RAM (20H-2FH).
3. General Purpose RAM (30H-7FH).
4. Special Function register (80H-FFH).

2.2.5. Timer dan Counter

Mikrokontroller AT89C51 mempunyai dua buah timer/counter 16 bit yang dapat diatur melalui perangkat lunak, yaitu, timer/counter 0 dan timer/counter 1. Periode waktu timer/counter secara umum ditentukan dengan persamaan berikut:

- Sebagai timer/counter 8 bit

$$T = (255 - TL_x) * 1 / (F_{osc} / 12)$$

Dimana TLX adalah register TLO atau TL1

- Sebagai timer/counter 16 bit

$$T = (65535 - TH_x TL_x) * 1 / (F_{osc} / 12)$$

Dimana :

THx = isi register TH0 atau TH1

TLx = isi register TLO atau TL1

Pengontrolan kerja timer atau counter adalah pada *register timer control* (TCON).

Adapun definisi dari bit- bit pada timer control adalah sebagai berikut:

MSB

LSB

TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tabel 2.3. Keterangan Register TCON

Simbol	Posisi	Fungsi
TF1	TCON. 7	Timer 1 over flow flag, diset oleh perangkat keras saat timer/ counter menghasilkan over flow
TR1	TCON. 6	Bit untuk menjalankan timer 1. diset oleh software untuk membuat timer ON/OFF.
TF 0	TCON. 5	Timer 0 over flag. Diset oleh hardware
TR 0	TCON. 4	Bit untuk menjalankan timer 0. Diset / clear oleh software untuk membuat timer ON atau OFF.
IE 1	TCON. 3	Eksternal interrupt 1 Edge.
IT 1	TCON. 2	Interrupt 1 type control bit. Diset/ clear oleh software untuk menspesifikasi sisi turun/ level rendah dari intrupsi eksternal.
IE 0	TCON. 1	Eksternal interrupt 0 edge flaf.
IT 0	TCON. 0	Interrupt 0 type control bit.

Sumber : Data Sheet AT89C51

Pengontrolan pemilihan mode operasi timer/counter adalah register *timer mode* (TMOD) yang mana definisi bit-bitnya adalah sebagai berikut:

MSB

LSB

GATE	C/T	M1	M0	GATE	C/T	M1	M0
------	-----	----	----	------	-----	----	----

Keterangan :

GATE : Saat Trx dalam TCON diset 1 dan $GATE = 1$, timer/counter x akan berjalan ketika $Trx = 1$ (timer dikontrol oleh software).

C/T : Pemilihan fungsi timer atau counter. Clear (0) untuk operasi timer dengan masukan dari sistem *clock internal*. Set (1) untuk operasi counter dengan masukan dari pin T0 dan T1.

- M1 : Bit pemilih mode 1
- M0 : Bit pemilih mode 0

Tabel 2.4. Kombinasi M0 dan M1 pada register TMOD

M1	M0	Mode	Operasi
0	0	0	Timer 13 bit
1	1	1	Timer / Counter 16 bit
1	0	2	Timer auto reload 8 bit (pengisian otomatis)
1	1	3	TLO adalah timer / counter 8 bit yang dikontrol oleh control bit standart timer 0. TH0 adalah timer 8 bit dan di kontrol oleh bit timer 1

Sumber : Data Sheet AT89C51

Dibawah ini akan dijelaskan tentang pengertian tentang mode yang akan digunakan pada register TMOD, sebagai berikut:

- Mode 0

Dalam kode ini register timer disusun sebagai register 13 bit setelah semua perhitungan selesai, mikrokontroller akan mengeset *timer Interrupt Flag* (TF1). Dengan membuat GATE = 1, timer dapat dikontrol oleh masukan liar INT1, untuk fasilitas pengukuran lebar pulsa

- Mode 1

Mode 1 sama dengan mode 0 kecuali register timer akan bekerja dalam register 16-bit.

- Mode 2

Mode 2 menyusun *register timer* sebagai 8-bit counter. *Over flow* dari TL1 tidak hanya mengeset TF1 tetapi juga mengisi TL1 dengan isi TH1 yang diatur secara *software*. Pengisian ini tidak mengubah TH1.

- Mode 3

Timer 1 dalam mode 3 semata-mata memegang hitungan. Efeknya sama seperti mengeset TR = 0. timer 0 dalam mode 3 menetapkan TL0 dan TH0 sebagai 2 counter terpisah. TL0 menggunakan *control bit timer 0*, yaitu C/T, GATE, TR0, INT0, DAN TF0, TH0 ditetapkan sebagai fungsi TIMER.

2.2.6. SFR (*Special Function Register*)

Register internal 8051 tersusun sebagai bagian dari RAM internal mikrokontroller. Tentunya setiap register mempunyai sebuah alamat. *Special Function Register* (SFR) berjumlah 21 yang terletak pada bagian atas RAM internal, yaitu yang beralamat 80H - FFH. Dapat diperlihatkan seperti tabel berikut ini:

Tabel 2.5. *Special Function Register* (SFR)

SIMBOL	NAME	ADDRES
ACC	ACCUMULATOR	0E0H
B	B REGISTER	0F0H
PSW	PROGRAM STATUS WORD	0D0H
IP	INTERUPT PRIORITY CONTROL	0B8H
IE	INTERUPT ENABLE CONTROL	0A8H
P3	PORT 3	0B0H
P2	PORT 2	0A0H
P1	PORT 1	90H
P0	PORT 0	80H
SBUF	SERIAL DATA BUFFER	99H
SCON	SERIAL CONTROL	98H
TH1	TIMER/ COUNTER 1 HIGH CONTROL	8DH
TH0	TIMER/ COUNTER 0 HIGH CONTROL	8CH
TL1	TIMER/ COUNTER1 LOW CONTROL	8BH
TL0	TIMER/ COUNTER 0 LOW CONTROL	8AH
TMOD	TIMER/ COUNTER MODE CINTROL	89H
TCON	TIMER/ COUNTER CONTROL	88H
PCON	POWER CINTROL	87H
DPH	HIGH BYTE	83H
DPL	LOW BIYTE	82H
SP	STACK POINTER	80H

Sumber : Data Sheet AT89C51

2.2.7. Program Status Word (PSW)

Untuk mendefinisikan *program status word* ini dapat dilakukan perbyte maupun secara keseluruhan dari register ini, terletak dialamat D0H yang berisi bit status. Selengkapnya terdapat pada tabel berikut :

Tabel 2.6. Program Status Word (PSW)

BIT	SIMBOL	ADDRES	BIT DESCRIPTION
PSW. 7	CY	D7 H	Carry Flag
PSW. 6	AC	D6 H	Auxiliary Flag
PSW. 5	F0	D5 H	Flag 0
PSW. 4	RS1	D4 H	Register bank select 1
PSW. 3	RS0	D3 H	Register bank select 0 00 = bank 0; addresses 00H – 07H 01 = bank 1; addresses 08 H- 0FH 10 = bank 2; addresses 10 H- 17 H 11 = bank 3; addresses 18 H- 1FH
PSW. 2	OV	D2 H	Over Flow Flag
PSW. 1	-	D1 H	Reserved
PSW. 0	P	D0 H	Even Parity flag

Sumber : Data Sheet AT89C51

2.2.8. Power Register Control (PCON)

PCON terletak pada alamat 87H yang berisi beberapa bit kontrol dan dirangkum pada tabel berikut ini.

Tabel 2.7. Power Control Register (PCON)

BIT	SIMBOL	DISKRIPSI
7	SMOD	Double – baud rate bit; jika diset maka baud rate didouble dan berlaku pada mode serial port 1,2 dan 3
6	-	Tidak didefinisikan
5	-	Tidak didefinisikan
4	-	Tidak didefinisikan
3	GF1	General purpose flag bit 1
2	GF2	General purpose flag bit 0
1	PD	Power down; kondisi set untuk mengaktifkan mode power down, keluar dari mode ini hanya dengan reset.
0	IDL	Mode idle; kondisi set untuk mengaktifkan mode idle, keluar dari mode ini hanya dengan interrupt atau sistem reset

Sumber : Data Sheet A189C51

2.2.9. Sistem Interupsi

Mikrokontroller AT89C51 mempunyai 5 buah sumber *interrupt* yang dapat membangkitkan *interrupt request* :

- INT0 : Permintaan *interrupt* luar dari kaki P3.2
- INT1 : Permintaan *interrupt* luar dari kaki P3.3
- Timer/Counter 0 : Bila terjadi *overflow*
- Timer/Counter 1 : Bila terjadi *overflow*
- Port serial : Bila Pengiriman/Penerimaan satu *frame* telah

Lengkap

Saat terjadi *interrupt* mikrokontroller secara otomatis akan menuju ke subrutin pada alamat tersebut. Setelah *interrupt service* selesai dikerjakan, mikrokontroller akan mengerjakan program semula. Dua sumber merupakan sumber *interupsi eksternal*, INT1. Kedua interupsi eksternal dapat aktif, level aktif transisi tergantung isi ITO dan IT1. Pada register TCON interupsi timer 1 dan timer 0 aktif pada saat timer yang sesuai mengalami *roll-over*. Interupt serial dibangkitkan dengan melakukan operasi OR pada R1 dan T1. Setiap sumber interupsi dapat enable atau disable melalui *software*.

Tingkat prioritas semua sumber interupsi dapat diprogram sendiri-sendiri dengan set atau clear bit pada SFR IP (*Interrupt Priority*). Interupsi tingkat rendah dapat diinterupsi oleh interupsi yang mempunyai tingkat interupsi yang lebih tinggi, tetapi tidak sebaliknya. Walaupun demikian, interupsi yang tingkat interupsinya lebih tinggi tidak bisa menginterupsi sumber interupsi yang lain.

2.2.10. Metode Pengalamatan

Metode pengalamatan pada AT89C51 adalah sebagai berikut :

a. Pengalamatan tak langsung

Operand pengalamatan tak langsung menunjuk kearah sebuah register yang berisi lokasi alamat memori yang akan digunakan dalam operasi. Lokasi yang nyata tergantung pada isi register saat instruksi dijalankan. Untuk melaksanakan pengalamatan tak langsung digunakan symbol @. Berikut ini diberikan beberapa contoh:

ADD A, @ R0 : Tambahkan isi RAM yang lokasinya ditunjuk oleh register R0 ke akumulator

DEC @ R1 : Kurangilah dengan satu, isi RAM yang alamatnya ditunjukkan oleh register R1.

MOVX @ DPTR,A : Pindahkan isi akumulator ke memori luar yang lokasinya ditunjukkan oleh *data pointer* (DPTR).

b. Pengalamatan langsung

Pengalamatan langsung dilakukan dengan memberikan nilai ke suatu register secara langsung. Untuk melaksanakan hal tersebut digunakan tanda #.

Sebagai contoh :

MOVA, # 01H : isi akumulator dengan bilangan 01H

MOV DPTR, # 19ABH : Isi register DPTR dengan bilangan 19ABH

Pengalamatan data langsung dari 0 sampai 127 akan mengakses RAM internal. Sedang pengalamatan dari 128 sampai 255 akan mengakses register perangkat keras sebagai contoh :

MOV P3, A : Pindahkan isi akumulator ke alamat data B0H

(BOH adalah alamat Port 3)

c. Pengalamatan bit

Pengalamatan bit adalah penunjukan alamat lokasi bit baik dalam RAM internal, (byte 32 sampai 47) maupun bit perangkat keras. Untuk melakukan pengalamatan bit digunakan simbol titik misalnya :

SETB 88H, 6 : set bit pada lokasi 88H (Timer 1 ON)

d. Pengalamatan kode

Ada tiga macam instruksi yang dibutuhkan dalam pengalamatan kode, yaitu *relative jump*, *in- block jump* atau *call*, dan *long jump*.

2.3. Sensor

2.3.1 Sensor Suhu

Transduser suhu digunakan untuk mengubah besaran suhu menjadi sinyal listrik. Sensor suhu harus mempunyai kepekaan terhadap perubahan suhu yang akan diukur. Sinyal listrik ini kemudian diubah oleh converter analog to digital (*Analog to Digital Converter*) sehingga bisa diolah oleh mikrokontroler AT89C51.

Sensor suhu merupakan bagian dari elemen alat ukur dalam sistem kontrol dengan umpan balik. Karena sifat dinamik dan statik dari elemen ukur mempengaruhi penunjukan harga sebenarnya dari variabel keluaran, maka elemen ukur memegang peranan penting dalam menentukan performansi keseluruhan sistem.

Sensor suhu yang digunakan adalah IC LM 35 produksi National Semiconductor, IC tersebut mempunyai ketelitian dan ketepatan tinggi. Keluaran

IC ini mempunyai kelinieran yang tinggi dalam jangkauan yang memadai untuk kemampuan pengontrolan umum. Jangkauan atau kemampuan dari IC ini adalah -55°C sampai $+150^{\circ}\text{C}$.

LM 35 memiliki impedansi keluaran rendah, keluaran linier dan memiliki kalibrasi yang tepat sehingga membuat pembacaan nilai keluaran menjadi mudah. Dengan sensitivitas $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$, keluaran mengalami perubahan 10 mV setiap kenaikan suhu 1°C .

Beberapa kelebihan yang dimiliki IC ini membuat mudah untuk antarmuka, pembacaan dan pengontrolan. Dapat digunakan untuk catu daya tunggal, juga dengan catu daya simetris plus dan minus. Dengan arus rendah yaitu $60\mu\text{A}$ dan mempunyai pemanasan sendiri yang rendah yaitu kurang dari $0,1^{\circ}\text{C}$.

(Sumber: Sundoro W, 2006)

Spesifikasi dari Sensor Suhu LM35:

- Dikalibrasi secara langsung ke celcius
- Faktor skala linier $+10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$
- Jaminan akurasinya $0,5^{\circ}\text{C}$ pada suhu $+25^{\circ}\text{C}$
- Rata-rata temperaturnya antara -55°C sampai 150°C .
- Dioperasikan pada 4 volt sampai 30 volt .
- Arus yang dibawa kurang dari 60 uA
- *Self-heating*-nya yaitu $0,08^{\circ}\text{C}$ pada udara tetap.
- Ketidak linieranya $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$.
- Impedansi outputnya rendah yaitu $0,1\ \Omega$ dari 1 mA muatan

(Sumber: Data Sheet Sensor LM35)



Gambar 2.13
Tampak Bawah LM35

2.3.2 Sensor Kelembaban RHK1AN

Kelembaban Relatif/Relative Humidity (RH) adalah suatu perbandingan yang dinyatakan dalam prosentase, banyaknya persen uap air didalam atmosfer terhadap jumlah yang dibutuhkan untuk memenuhinya pada suhu yang sama. Kelembaban relative berubah-ubah menyesuaikan suhu. RH 50% “ $\pm 5\%$ ”, symbol “ $\pm 5\%$ ” menjelaskan adanya batas toleransi 5%, yaitu lebih 2,5% atau kurang 2,5% dari standar 50%, yang berarti tidak boleh kurang dari 47,5% dan lebih dari 52,5%.

Kelembaban adalah salah satu faktor yang menentukan kondisi cuaca pada suatu daerah. Kelembaban dapat diukur dengan berbagai macam metode, salah satunya adalah dengan menggunakan sensor kelembaban RHK1AN yaitu sebuah sensor kelembaban yang resistansinya dapat berubah-ubah sesuai kondisi kelembaban udara yang terjadi saat itu.

Dalam melakukan pengukuran kelembaban pada suatu daerah sangat bergantung pada suhu udara sebagai faktor yang sangat berpengaruh terhadap kelembaban saat itu. Persen % RH (*Relative Humidity*) besarnya relative tergantung suhu udara saat itu, dalam arti bahwa persen kelembaban mempunyai nilai berbeda untuk suhu yang berbeda walaupun nilai resistansi sensor sama. Hal ini dapat dilihat pada table 2.8 berikut ini:

(Sumber: DT-51 Application Note AN27 - Temperature & Humidity)

Table 2.8. Karakteristik Kelembaban pada Temperatur

% RH	Resistansi (ohm)					
	pada 5°C	pada 15°C	pada 25°C	pada 35°C	pada 45°C	pada 55°C
20	16000	10000	6500	4200	2500	1500
25	10000	6500	4200	2500	1500	930
30	6500	4200	2500	1500	930	510
35	4200	2500	1500	930	510	275
40	2500	1500	930	510	275	130
45	1500	930	510	275	130	65
50	930	510	275	130	65	36
55	510	275	130	65	36	19,5
60	275	130	65	36	19,5	11
65	130	65	36	19,5	11	6,5
70	65	36	19,5	11	6,5	3,5
75	36	19,5	11	6,5	3,5	1,95
80	19,5	11	6,5	3,5	1,95	1,2
85	11	6,5	3,5	1,95	1,2	0,7
90	6,5	3,5	1,95	1,2	0,7	0,4

(Sumber : Data Sheet Sensor RHK1AN)

Spesifikasi dari sensor kelembaban RHK1AN :

- Kapasitas temperatur pada -40 – +85°C
- Kapasitas kelembaban kurang dari 95% RH
- Diporerasikan pada temperature 0 – 60°C
- Dioperasikan pada kelembaban 20 – 90% RH
- Tegangan rata-rata AC 1 Volt (50 Hz – 1 KHz)
- Daya rata-rata 0,3 mWatt
- Standart karakteristik 60 kΩ (at 25°C, 60% RH)
- Ketelitian < +3% RH
- *Hysterisis Within 3% RH*

(Sumber: Data Sheet Sensor RHK1AN)



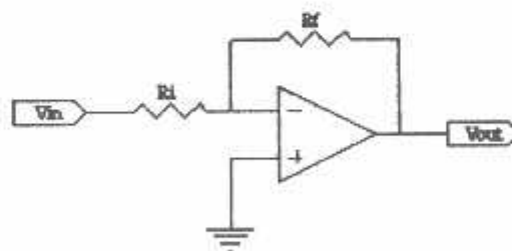
Gambar 2.14.
Tampak Samping RHK1AN

2.4. Penguat Instrumentasi

Operational amplifier atau disingkat Op-Amp merupakan salah satu komponen analog yang populer digunakan dalam berbagai aplikasi rangkaian elektronika. Pemakaian penguat instrumentasi adalah untuk memperkuat sinyal dari transducer atau sensor dan lebih dikenal dengan rangkaian pengkondisi sinyal. Karena penguat instrumentasi adalah penguat dengan umpan balik tertutup, maka penguat instrumentasi ini dibuat dengan menggunakan penguat operasional amplifier.

2.4.1 Inverting Amplifier

Penguat inverting amplifier ini merupakan penguat yang membalik artinya pada penguat ini polaritas tegangan output merupakan kebalikan dari inputnya. Berikut ini merupakan gambar dari rangkaian penguat inverting amplifier.



Gambar 2.15.
Penguat Inverting Amplifier

Untuk penguatan pada penguat inverting adalah sebagai berikut:

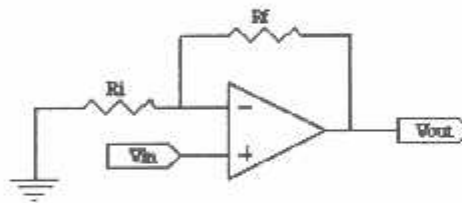
$$A_v = -\frac{R_f}{R_i}$$

$$V_{out} = A_v \times V_{in}$$

$$= A_v \left(-\frac{R_f}{R_i} \right)$$

2.4.2 Non-Inverting Amplifier

Penguat Non-Inverting adalah penguat operasional amplifier tak membalik, jadi tegangan output penguat ini polaritasnya tetap. Berikut ini merupakan gambar dari penguat non-inverting amplifier.



Gambar 2.16.
Penguat Non Inverting Amplifier

Untuk penguatan pada penguatan non-inverting adalah sebagai berikut:

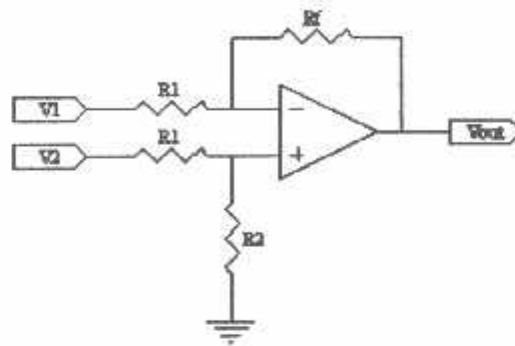
$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_i}$$

$$V_{out} = A_v \times V_{in}$$

$$= \left(1 + \frac{R_f}{R_i} \right) \times V_{in}$$

2.4.3 Differential Amplifier

Penguat differensial merupakan penguat operasional amplifier yang mempunyai dua inputan yang kemudian selisih kedua input ini dikuatkan. Berikut ini merupakan gambar penguat dfferensial:



Gambar 2.17
Penguat Differential Amplifier

Berikut merupakan persamaan penguatan pada penguat differensial amplifier:

$$A_v = \frac{R_f}{R_i}$$

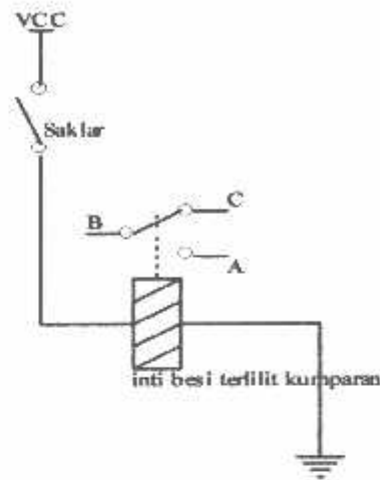
$$V_{out} = A_v (V_2 - V_1)$$

$$= \frac{R_f}{R_i} (V_2 - V_1)$$

(Sumber: Panduan Praktikum Dasar Elektronika, 2005)

2.5 Relay

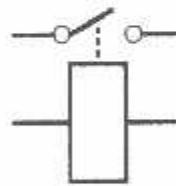
Relay adalah komponen elektronika yang terdiri dari sebuah lilitan kawat (kumparan/koil) yang terlilit pada sebuah besi lunak. Jika kumparan dialiri arus listrik maka inti besi akan menjadi magnet dan menarik pegas sehingga kotak AB terhubung dan BC terputus.



Gambar 2.18. Cara Kerja Relay

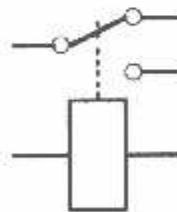
Relay merupakan suatu alat untuk menghubungkan atau memerlukan kontak antara komponen yang satu dengan yang lain. Dalam memutus atau menghubungkan kontak digerakkan oleh *fluksi* yang ditimbulkan dari adanya medan magnet listrik yang dihasilkan oleh kumparan yang melilit pada besi lunak. Ada beberapa macam relay, antara lain:

- SPST (*Single Pin Single Terminal*)



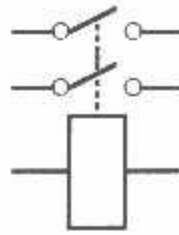
Gambar 2.19 Relay SPST

- SPDT (*Single Pin Dual Terminal*)



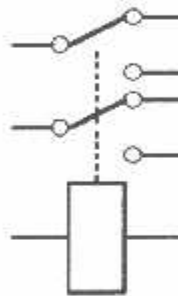
Gambar 2.20 Relay SPDT

- DPST (*Dual Pin Single Terminal*)



Gambar 2.21 Relay DPST

- DPDT (*Dual Pin Dual Terminal*)



Gambar 2.22 Relay DPDT

2.6. LCD (*Liquid Crystal Display*) M1632

LCD (*liquid Crystal Display*) adalah suatu jenis piranti output yang menggunakan daya rendah dengan pengontrol kontras dan kecerahan. Pengontrol utamanya dan karakter ada pada ROM (*Read Only Memory*) generator dan display data RAM (*Random Access Memory*) yang akan menghasilkan *extended key codes* (kode tombol/keyboard standart internasional dalam Hexsa) jika padanya diberikan inputan. Untuk mendapatkan fungsi dengan baik maka perlu diperhatikan proses inisialisasi yang telah ditentukan oleh pabrik pembuatnya. Timming penginisialisasian sangat perlu dipertimbangkan, karena jika meleset sampai orde millisecond, maka dapat dipastikan LCD itu tidak dapat berfungsi.

Ada dua jenis register yang terdapat dalam LCD M1632 ini, yaitu data register dan instruction register. Dengan menggunakan pin RS (*Register Select*) pada LCD, pemakaian kedua register dapat dipilih. Pemilihan register dapat dipilih. Pemilihan register pada LCD ditunjukkan dalam tabel berikut ini :

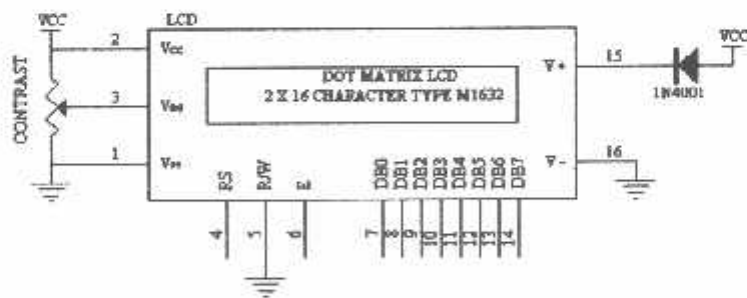
Tabel 2.9. Pemilihan Register Pada LCD M1632

Nama Sinyal	No. Terminal	I/O	Tujuan	Keterangan Sinyal
RS	4	Input	MPU	0 : Instruction Register 1 : Data Register

Sumber : Seiko Instrument Inc, 1987

Jika bagian yang dipilih adalah instruction register maka output yang dihasilkan adalah meliputi operasional dari LCD, misalnya fungsi display clear, cursor home, entry mode set, display on/off, cursor shift, dan sejenisnya. Sebaliknya, jika bagian yang dipilih adalah data register, output yang dihasilkan adalah meliputi karakter yang terdapat pada lampiran data sheet LCD.

Berikut adalah gambar dari LCD dengan pin- pin yang terhubung dengan mikrokontroller AT89S52 :



Gambar 2.23. Modul LCD 2 ×16 karakter

Sumber : Seiko Instrument Inc, 1987

LCD M1632 mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

- 16 karakter 2 baris dalam bentuk dot matrik 5×7 dan kursor.
- *Duty ratio* 1/16.
- Memiliki ROM pembangkit karakter untuk 192 jenis karakter.
- RAM untuk data *display* sebanyak 80×8 bit (80 karakter maksimum).
- Dapat dirangkai dengan MPU (*Mikroprocessor Unit*) 8 bit atau 4 bit.
- RAM data *display* dan RAM pembangkit karakter dibaca oleh MPU.
- Memiliki fungsi intruksi : *display ON/OFF*, *cursor ON/OFF*, *display character blink*, *cursor shift* dan *display shift*.
- Memiliki rangkaian oscillator sendiri.
- Sumber tegangan tunggal +5 volt.
- Memiliki rangkaian reset otomatis pada catu daya dihidupkan.
- Temperature operasi 0° - 50° C.

LCD modul M1632 mempunyai 16 pin dengan fungsi sebagai berikut :

Tabel 2.10 Fungsi Pin – Pin LCD

No. PIN	Nama PIN	Fungsi
1	Vss	Terminal Ground
2	Vcc	Tegangan Catu : 5 volt
3	Vee	Mengendalikan kecerahan LCD
4	RS	Sinyal pemilihan register 0 = Tulis 1 = Baca
5	R/W	Sinyal seleksi tulis atau baca 0 = Tulis 1 = Baca
6	E	Sinyal operasi awal yang mengaktifkan data tulis atau baca
7 - 14	DB0 – DB7	Merupakan saluran data berisi perintah data yang akan ditampilkan
15	V + BL	Back Light Supply 5 Volt (Volt)
16	V – BL	Back Ligth Supply 0 (Ground)

Sumber : LCD Modul User Manual, Seiko Instrument Ing, 1987

Pada LCD juga terdapat instruksi – instruksi sebagai berikut :

- *Display clear* : membersihkan tampilan yang ada pada LCD serta menyimpan, sedangkan kursor kembali ke posisi semula.
- *Cursor home* : hanya membersihkan tampilan dan kursor kembali ke semula.
- *Empty mode Set* : layar beraksi sebagai tampilan tulis.

S : 1/0 = menggeser layar.

1/0 : 1 = kursor bergerak ke kanan dan layar bergerak ke kiri.

1/0 : 0 = kursor bergerak ke kiri dan layar bergerak ke kanan

- *Display On/Off* kontrol.

D : 1 = layar on

D : 0 = layar off

C : 1 = kursor on

C : 0 = kursor off

B : 1 = kursor berkedip-kedip

B : 0 = kursor tidak berkedip-kedip

- *Cursor Display Shift*

S/C : 1 = LCD diidentifikasi sebagai layar

S/C : 0 = LCD diidentifikasi sebagai kursor

R/L : 1 = menggeser satu spasi ke kanan

R/L : 0 = menggeser satu spasi ke kiri

- *Fuction Set*

DL : 1 = panjang data LCD pada 8 bit

DL : 0 = panjang data LCD pada 4 bit

Bit upper ditransfer terlebih dahulu kemudian diikuti dengan 4 bit lower.

N : 1/0 = LCD menggunakan 2 atau 1 baris karakter

P : 1/0 – LCD menggunakan 5 x 10 dot matrik

- *CG RAM address set* : menulis alamat RAM ke karakter
- *DD RAM address set* : menulis alamat RAM ke tampilan
- *BF/address set* : BF = 1/0, LCD dalam keadaan sibuk atau tidak sibuk.
- *Data write to CG RAM or DD RAM* : membaca byte dari alamat terakhir RAM yang dipilih.

2.6.1. Sinyal Interface M1632

Untuk berhubungan dengan mikrokontroler pemakai, M1632 dilengkapi dengan 8 jalur data (**DB0..DB7**) yang dipakai untuk menyalurkan kode ASCII maupun perintah pengatur kerjanya M1632. Selain itu dilengkapi pula dengan **E**, **R/W** dan **RS** seperti layaknya komponen yang kompatibel dengan mikroprosesor.

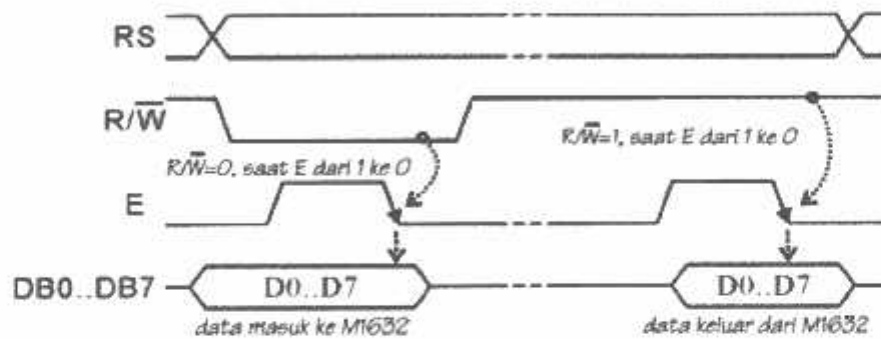
Kombinasi lainya **E** dan **R/W** merupakan sinyal standar pada komponen buatan Motorola. Sebaliknya sinyal-sinyal dari MCS51 merupakan sinyal khas Intel dengan kombinasi sinyal **WR** dan **RD**..

RS, singkatan dari *Register Select*, dipakai untuk membedakan jenis data yang dikirim ke M1632, kalau **RS=0** data yang dikirim adalah perintah untuk

mengatur kerja M1632, sebaliknya kalau **RS=1** data yang dikirim adalah kode ASCII yang ditampilkan.

Demikian pula saat pengambilan data, saat **RS=0** data yang diambil dari M1632 merupakan data status yang mewakili aktivitas M1632, dan saat **RS=1** maka data yang diambil merupakan kode ASCII dari data yang ditampilkan.

Proses mengirim/mengambil data ke/dari M1632 digambarkan dalam gambar 2-26 bisa dijabarkan sebagai berikut :



Gambar 2.24. Mengirim/Mengambil Data Ke/Dari M1632

Sumber : *alds.stts.edu, rubrik analog, STTS Surabaya*

1. **RS** harus dipersiapkan dulu, untuk menentukan jenis data seperti yang telah dibicarakan di atas.
2. **R/W** di-nol-kan untuk menandakan akan diadakan pengiriman data ke M1632. Data yang akan dikirim disiapkan di **DB0..DB7**, sesaat kemudian sinyal **E** di-satu-kan dan di-nol-kan kembali. Sinyal **E** merupakan sinyal sinkronisasi, saat **E** berubah dari 1 menjadi 0 data di **DB0 .. DB7** diterima oleh M1632.
3. Untuk mengambil data dari M1632 sinyal **R/W** di-satu-kan, menyusul sinyal **E** di-satu-kan. Pada saat **E** menjadi 1, M1632 akan meletakkan datanya di **DB0 .. DB7**, data ini harus diambil sebelum sinyal **E** di-nol-kan kembali.

2.7. Keypad 4X4

Keypad digunakan untuk memberikan masukan data input ke mikrokontroler yang kemudian akan ditampilkan melalui LCD dengan cara menekan tombol yang ada pada *keypad*. *Keypad* yang ada umumnya jenis *keypad* 4 baris 4 kolom (*keypad* 4X4) dan jenis 4 baris 3 kolom (*keypad* 4X3). Dalam hal ini *keypad* yang akan digunakan adalah *keypad* 4X4 dengan sebuah *common*.

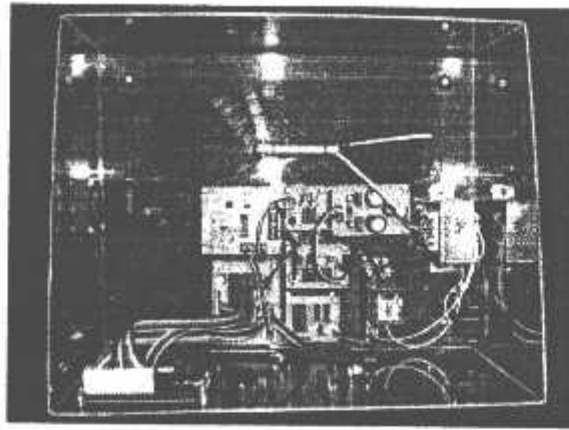
Jalur K1 sampai dengan K4 dan jalur B1 sampai dengan B4 dihubungkan ke port 1 mikrokontroler. Pada saat kondisi tidak terjadi penekanan tombol *keypad* maka kondisi logika pada port 2 adalah 1 pada setiap bitnya. Akan tetapi, apabila salah satu tombol ditekan baris dan kolom yang berhubungan akan terhubung ke *ground*, hal ini menyebabkan kondisi baris dan kolom akan berlogika 0.

(Sumber: Budhy Sutanto, 2002)

Dari gambar blok diagram 3.1. dapat dijelaskan cara kerja dari Spesifikasi "Alat Monitoring suhu dan kelembaban ruang operasi dengan menerapkan I²C bus berbasis mikrokontroller AT89C51. Dengan pengaturan melalui KEYPAD dan hasilnya akan ditampilkan diLCD" yang dirancang adalah sebagai berikut:

- **I²C BUS / PCF8591 8-bit ADC**
Berfungsi untuk mengubah data yang berbentuk analog menjadi data yang berbentuk digital dan sebagai inputan sistem.
- **I²C BUS PCF8574 8-bit I/O Expander**
Berfungsi untuk meghidupkan relay melalui driver.
- **Mikrokontroler Atmel AT89C51**
Mikrokontroller berfungsi sebagai pengontrol semua sistem, dalam IC ini terdapat 8Kbytes PEROM, 256bytes RAM internal, 32 *Programmable I/O lines*, 2Kbytes EEPROM dan 3 buah *timer / counter* 16 bit.
- **Sensor Suhu LM35**
Mengubah besaran Suhu menjadi besaran elektrik yang dipergunakan untuk mendeteksi suhu ruangan.
- **Sensor Kelembaban RHK1AN**
Mengubah besaran Kelembaban menjadi besaran elektrik yang dipergunakan untuk mendeteksi kelembaban ruangan.
- **Rangkaian Pengkondisi Sinyal**
Rangkaian pengkondisi sinyal disini berfungsi untuk menguatkan tegangan output dari sensor sebelum diinputkan ke ADC.

- **LCD**
Menampilkan keluaran dari sistem untuk menginformasikan kepada *user/pengguna*.
- **Keypad**
Berfungsi sebagai inputan data 4 bit mikrokontroller yang digunakan untuk tombol pengoperasian alat dan penentuan suhu ruangan yang diinginkan.
- **Driver**
Driver berfungsi untuk mengaktifkan heater dan fan.
- **Heater**
Berfungsi memanaskan udara untuk menaikkan suhu udara dalam Box (Miniatur ruangan untuk operasi) bila suhu udara di bawah suhu normal.
- **Fan (Kipas Angin)**
Berfungsi mendinginkan udara untuk menurunkan suhu udara dalam Box (Miniatur ruangan untuk operasi) bila suhu udara di atas suhu normal.



Gambar 3.2.

Miniatur Box Ruang Operasi

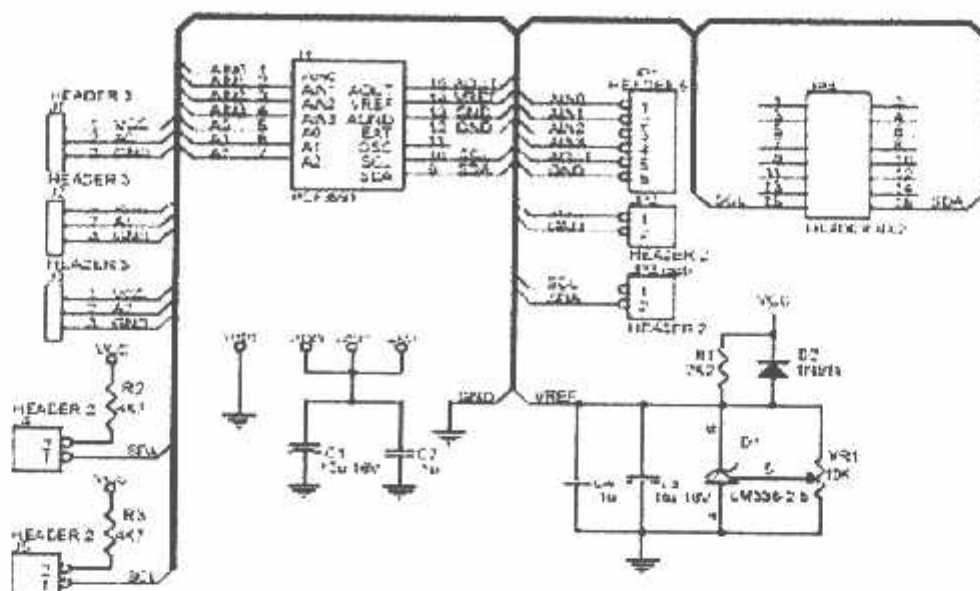
3.1.1. Perancangan I²C BUS PCF8591 8-bit ADC

Dalam pembuatan alat ini juga dibutuhkan pengubah sinyal analog menjadi sinyal digital atau disebut *Analog to Digital Converter* (ADC), hal ini disebabkan karena sinyal-sinyal yang didapat dari sensor suhu dan sensor Kelembaban adalah berupa sinyal analog sedangkan rangkaian kontrolnya menggunakan sistem digital sehingga membutuhkan input berupa sinyal digital. Jenis ADC yang digunakan adalah I²C ADC PCF8591 yang memiliki kelebihan yaitu dapat menerima hingga 4 inputan. Pada alat ini hanya menggunakan 2 inputan saja yaitu (A IN 0) sebagai inputan dari pengkondisi sinyal sensor suhu, sedangkan (A IN 1) sebagai inputan dari pengkondisi sinyal sensor kelembaban. Untuk lebih jelasnya dapat kita lihat pada tabel dibawah ini:

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
AIN0	1	analog inputs (A/D converter)
AIN1	2	
AIN2	3	
AIN3	4	
A0	5	hardware address
A1	6	
A2	7	
V _{SS}	8	negative supply voltage
SDA	9	I ² C-bus data input/output
SCL	10	I ² C-bus clock input
OSC	11	oscillator input/output
EXT	12	external/internal switch for oscillator input
AGND	13	analog ground
V _{REF}	14	voltage reference input
AOUT	15	analog output (D/A converter)
V _{DD}	16	positive supply voltage

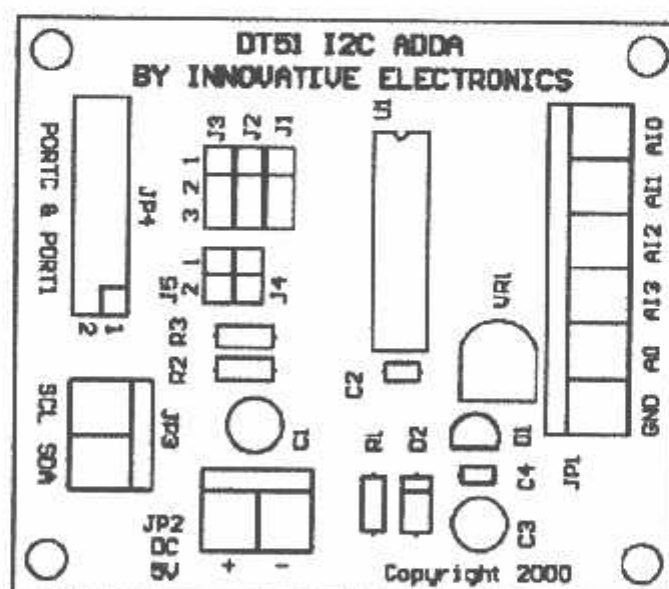
I²C BUS PCF8591 8-bit ADC dengan LM35 dan RHK1AN

Berikut adalah gambar dari rangkaian IC MODUL PCF8591 8-bit ADC :



© Copyright by Innovative Electronics

Gambar 3.4.
Rangkaian IC MODUL PCF8591 8-bit ADC



Gambar 3.5.
Tata Letak I²C MODUL PCF8591 8-bit ADC

Dan sensor suhu yang digunakan mempunyai jangkauan temperature antara 0 – 100 derajat Celcius dengan kenaikan 10mV untuk tiap derajat Celcius. Contoh: pada suhu 0 Derajat Celcius maka tegangannya adalah 0mV sedangkan pada suhu 30 derajat celcius maka tegangannya adalah 300mV atau 0.3V. Dan sensor Suhu dengan Type LM35 mempunyai karakter tersebut selanjutnya harus disesuaikan dengan ADC yang dipakai yaitu I²C ADC.

Karena I²C ADC mempunyai tegangan referensi 2.5 V untuk 8 bit data jadi setiap kenaikan satu bit adalah $2.5 \text{ Volt} / 256 = 9.77 \text{ mV}$, maka dari itu tegangan referensi ini harus dikalibrasi dahulu dengan-mengkalibrasi VR-1 sehingga tegangan referensi PCF8591 menjadi 2.56 V. Dari perhitungan $2.56 \text{ V} / 256 = 10\text{mV}$ maka kenaikan per bit = 10mV. Kenaikan ini sama dengan kenaikan tiap derajat Celcius dari LM35 sehingga data yang diambil dari I²C ADC bisa langsung dipakai untuk ditampilkan pada LCD. Contoh : Untuk suhu 30 derajat Celcius maka tegangan = 0.3 V dan data yang dibaca dari I²C ADC adalah bilangan binary dari 30 = 00011110b. Input analog dari I²C ADC yang dipakai adalah channel 0.

Keluaran dari sensor suhu dikondisikan oleh ADC PCF8591 atau I²C BUS yang kemudian diolah dalam mikrokontroller AT89C51. Sedangkan Untuk Proses Pengambilan datanya adalah master yang memiliki inisiatif untuk memulai dan mengakhiri transfer data beserta membangkitkan clock dengan cara data bit dikirim dan diterima melalui SDA dan untuk sinyal melalui SCL, transfer data dikatakan valid jika data bit pada SDA tetap stabil selama sinyal clock high, sedangkan data bit hanya boleh berubah jika sinyal

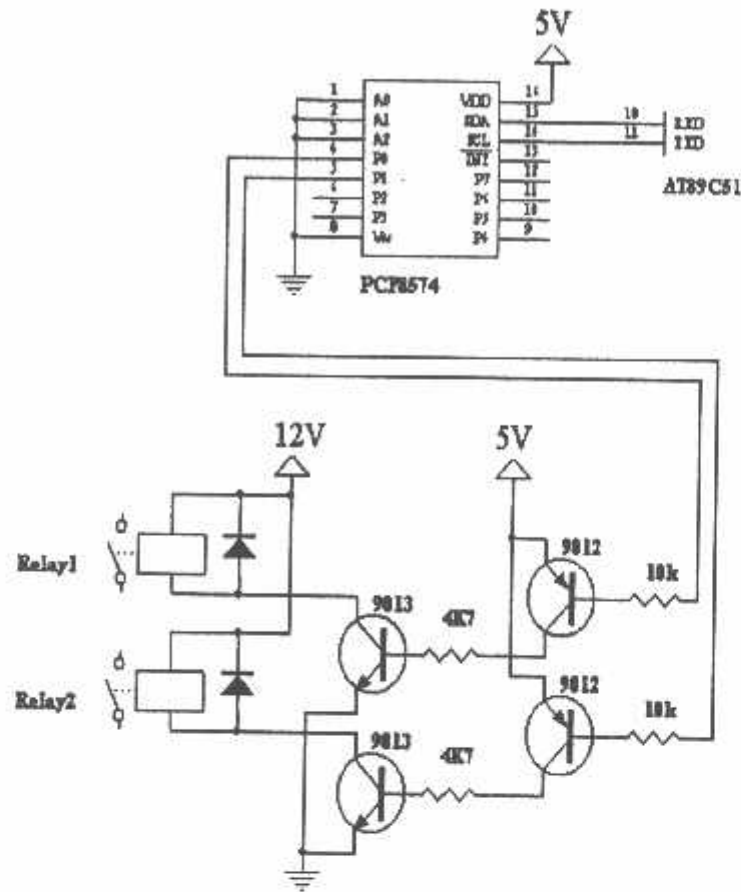
clock dalam kondisi low. Keluaran MCU ditampilkan pada Liquid Crystal Display (LCD).

Dan dalam pengaturan kelembaban maka suhu sebagai faktor yang berpengaruh untuk menghitung kelembaban tersebut. Untuk kelembaban relative adalah suatu perbandingan yang dinyatakan dalam prosentase, banyaknya persen uap air di dalam ruangan terhadap jumlah yang dibutuhkan untuk memenuhinya pada suhu yang sama. Kelembaban relative berubah ubah menyesuaikan suhu. Sebai contoh RH 50% “kurang lebih 5%”, simbol kurang lebih 5% menjelaskan adanya batas toleransi 5%, yaitu lebih 2,5% atau kurang 2.5% dari standart 50%, yang berarti tidak boleh kurang dari 4,7% dan lebih dari 52.5%. dan untuk Suhu 20°C “kurang lebih 2 °C” menjelaskan adanya batas toleransi 2 °C, yaitu lebih satu atau kurang satu dari standart 20 °C, yang berarti tidak boleh kurang dari 19 °C dan lebih dari 21 °C.

Sedangkan untuk proses pengambilan data pertama baca channel 1 Dan Keluaran dari sensor kelembaban dikondisikan oleh ADC PCF8591 I²C BUS yaitu 255 – data ADC. yang kemudian diolah dalam mikrokontroller AT89C51. Keluaran MCU ditampilkan pada Liquid Crystal Display (LCD).

Dan Apabila Suhu ruangan dalam Box (miniatur ruang operasi) diatas kondisi suhu normal (standart) yang telah ditentukan, maka relay menggerakkan fan sampai pada kondisi suhu normal (standart) begitu pula sebaliknya bila terjadi penurunan suhu maka heater akan memanaskan ruangan dalam Box (miniatur ruang operasi) untuk menaikkan suhu ruangan sampai kondisi normal (standart).

3.1.2. Perancangan I²C BUS PCF8574 8-bit I/O Expander



Gambar 3.8.
I²C BUS PCF8574 8-bit I/O Expander dengan Relay1 dan Relay2

Rangkaian diatas bekerja setelah menerima inputan data dan clock dari Mikrokontroller AT89C51 dan PCF8574 ini bekerja sebagai slave(aktif low), dimana pada prinsipnya PCF8574 akan menjalankan perintah semua terlebih dahulu meskipun Mikrokontroller hanya mengisyaratkan 1 Bit yang dialamati, setelah PCF 8574 menerima data-data bit yang diterima secara otomatis akan ditujukan pada alamat yang diperintahkan oleh AT89C51. PCF 8574 hanya mampu membaca data berjumlah 8 bit. Penggunaan port / kaki pin pada I²C BUS PCF8574 pada rancangan ini adalah sebagai berikut :

Tabel 3.2.
Address I²C PCF8591 I/O Expander

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
A0	1	Address input 0
A1	2	Address input 1
A2	3	Address input 2
P0	4	input/output 0
P1	5	input/output 1
P2	6	input/output 2
P3	7	input/output 3
V _{SS}	8	negative supply voltage
P4	9	input/output 4
P5	10	input/output 5
P6	11	input/output 6
P7	12	input/output 7
INT	13	interrupt output (active LOW)
SCL	14	I ² C-bus clock input
SDA	15	I ² C-bus data input/output
V _{DD}	16	positive supply voltage

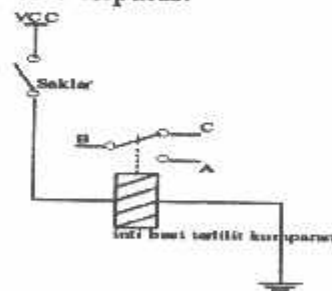
Penjelasan dari Tabel diatas :

- Pin 1 = A₀ : GND
- Pin 2 = A₁ : GND
- Pin 3 = A₂ : GND
- Pin 4 = P0 : Merupakan inputan yang berasal dari RELAY 1 dan untuk menerima sinyal dari mikrokontroller untuk memilih heater
- Pin 5 = P1 : Merupakan inputan yang berasal dari RELAY 2 dan untuk menerima sinyal dari mikrokontroller untuk memilih fan.
- Pin 6 : -
- Pin 7 : -
- Pin 8 : VCC GND
- Pin 9 : -

- Pin 10 : -
- Pin 11 : -
- Pin 12 : -
- Pin 13 : -
- Pin 14 : Dihubungkan pada SCL digunakan untuk mengirim clock secara serial ke RXD pada mikrokontroller AT89C51.
- Pin 15 : Dihubungkan pada SDA digunakan untuk mengirim data secara serial ke TXD pada mikrokontroller.
- Pin 16 : VCC + 5 Volt

Analisa Rangkaian Relay 1 dan Relay 2 :

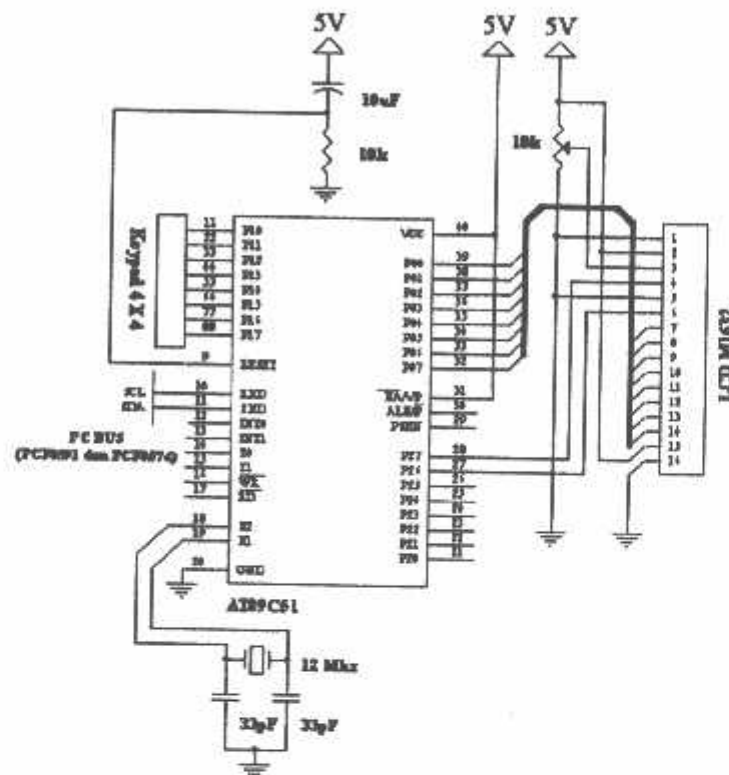
Relay adalah komponen elektronika yang terdiri dari sebuah lilitan kawat (kumparan/koil) yang terlilit pada sebuah besi lunak. Dan merupakan suatu alat untuk menghubungkan atau memerlukan kontak antara komponen yang satu dengan yang lain. Dalam memutuskan atau menghubungkan kontak digerakkan oleh *fluksi* yang ditimbulkan dari adanya medan magnet listrik yang dihasilkan oleh kumparan yang melilit pada besi lunak...Jika kumparan dialiri arus listrik maka inti besi akan menjadi magnet dan menarik pegas sehingga kotak AB terhubung dan BC terputus.



Gambar 3.7.
Cara Kerja Relay

3.1.3. Perancangan Penggunaan Port pada Mikrokontroller AT89C51

Agar sebuah mikrokontroler dapat bekerja sebagai pengontrol, maka kaki-kaki/*port* mikrokontroler dihubungkan dalam rangkaian-rangkaian eksternal. Dalam perancangan ini, *port* yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.9.

Minimum Sistem AT89C51

Penjelasan dari pin-pin yang dipergunakan:

- Pin 1 sampai 8 dihubungkan dengan keypad 4x4 sebagai inputan data 4 bit mikrokontroller yang digunakan untuk tombol pengoperasian alat dan penentuan suhu ruangan yang diinginkan.
- Pin 9 sebagai reset.

- Pin 10 dan 11 dihubungkan dengan I²C bus yaitu PCF8591 dan PCF8574 Sebagai SDA dan SCL..
- Pin 18 dan 19 dihubungkan dengan Kristal 12 MHz.
- Pin 20 dihubungkan ke *Ground*.
- Pin 27 dan Pin 28 dihubungkan ke 2 bit data untuk LCD. Pada Pin 27 dihubungkan pada RS (Pin 4 LCD) yaitu Sinyal pemilihan register 0=Tulis dan 1=Baca Sedangkan pada Pin 28 dihubungkan pada E (Pin 6 LCD) yaitu Sinyal operasi awal yang mengaktifkan data tulis atau baca
- Pin 31 dihubungkan ke Vcc 5V.
- Pin 32 sampai 39 dihubungkan ke DB0-DB7 (Pin 7-14 LCD) yaitu 8 bit data untuk LCD.
- Merupakan saluran data berisi perintah data yang akan ditampilkan
- Pin 40 dihubungkan dengan Vcc.

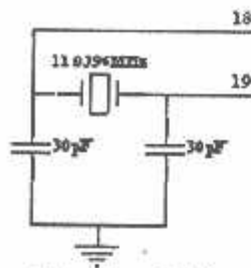
3.1.3.1.Rangkaian Clock

Mikrokontroller AT89C51 ini memiliki rangkaian *internal clock* generator yang berfungsi sebagai sumber *clock*, tetapi masih diperlukan rangkaian tambahan untuk membangkitkan *clock* yang diperlukan.

Rangkaian ini terdiri dari dua buah kapasitor dan sebuah kristal, dengan ketentuan sebagai berikut:

- 6 – 14 MHz untuk besarnya nilai kristal.
- 27 – 33 pf untuk besarnya nilai kapasitor.

Gambar dari rangkaian clock adalah sebagai berikut:



Gambar 3.10.
Rangkaian Clock AT89C51

3.1.4. Sensor

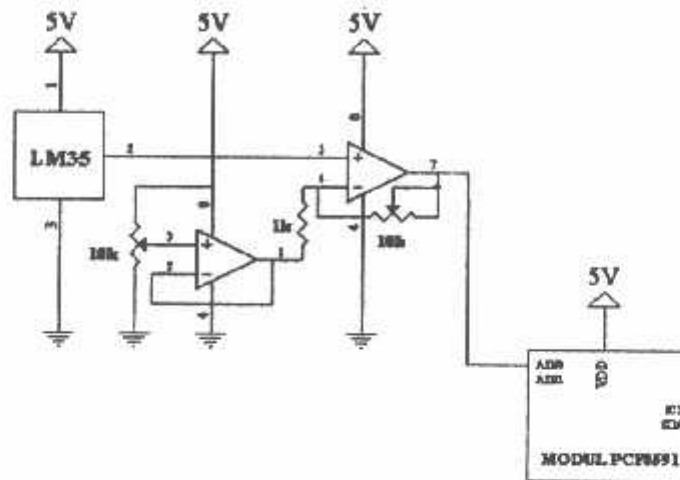
3.1.4.1. Sensor Suhu

Sensor ini berfungsi sebagai pengindera suhu dalam ruangan dan mengubah informasi tersebut menjadi tegangan analog. Digunakan sensor LM 35 dengan pertimbangan antara lain sederhana rangkaiannya, keluarannya linier terhadap suhu, kepekaan cukup baik, terkalibrasi langsung dalam derajat celsius, serta murah dan mudah didapatkan.

Kepekaan sensor terhadap suhu adalah sebesar 0.01 Volt/ $^{\circ}\text{C}$ dengan akurasi sebesar $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Dengan menghubungkan pin Gnd ke tanah, maka batas bawah keluarannya adalah 0 Volt untuk 0°C sehingga keluarannya sebesar 1Volt pada 100°C . Karena suhu yang dibutuhkan antara 29°C sampai 32°C , maka suhu yang dibahas dibatasi antara 25°C sampai 40°C .

Rangkaian pengkondisi sinyal digunakan untuk menguatkan sinyal yang diterima dari sensor sehingga dapat diterima dan diproses oleh I²C ADC. Rangkaian ini menggunakan IC penguat LM 358 yang didalamnya terdapat 2 op-amp sedangkan op-amp yang dipakai hanya 1, dapat menggunakan catu daya *non* simetris , hemat daya dan mempunyai penguatan yang cukup. Untuk

outputan dari penguatan sensor ini terhubung langsung ke input I²C ADC PCF8591 pada (A IN 0). Berikut ini pada gambar 3.11. adalah rangkaian penguat sinyal sensor suhu :



Gambar 3.11.
Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor Suhu

Untuk menghitung tegangan output dari sensor ini pada saat membaca temperature adalah :

$$V_{out} = Temp \times 10mV/^{\circ}C$$

Dimana :

Vout : Tegangan output dari sensor LM35 (Volt)

Temp : Besarnya suhu yang dibaca sensor ($^{\circ}\text{C}$)

Sebagai contoh :

Jika suhu yang diukur 35°C maka tegangan output sensor LM35 adalah :

$$V_{out} = 35^{\circ}\text{C} \times 10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$$

$$V_{out} = 350 \text{ mV}$$

Sedangkan untuk mendapatkan tegangan keluaran ini maka output dari sensor diumpankan kesuatu rangkaian penguat *non-inverting* dengan menggunakan IC LM358, dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$A_v = 1 + \left(\frac{R_f}{R_i} \right)$$

Dari rumus tersebut dapat kita hitung besarnya penguatan dari penguatan *differensial*, bila dari rangkaian:

Diketahui :

$$R_i = 1 \text{ K}$$

$$R_f = 10 \text{ K}$$

Maka penguatannya :

$$A_v = 1 + \left(\frac{R_f}{R_i} \right)$$

$$A_v = 1 + \left(\frac{10 \text{ K}}{1 \text{ K}} \right)$$

$$A_v = 11$$

Jadi dari perhitungan diatas diketahui penguatannya sebesar 11 kali.

3.1.4.2.Sensor Kelembaban

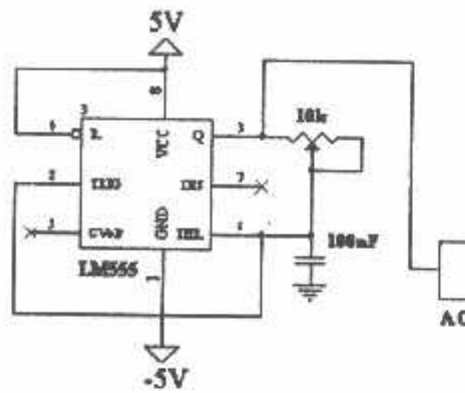
Dalam melakukan pengukuran kelembaban pada suatu ruangan atau daerah maka kita harus memasukkan suhu sebagai faktor yang sangat berpengaruh terhadap kelembaban tersebut. Kelembaban Relatif / *Relative Humidity* (RH) adalah suatu perbandingan yang dinyatakan dalam prosentasi, banyaknya persen uap air di dalam atmosfer terhadap jumlah yang dibutuhkan untuk memenuhinya pada suhu yang sama. Kelembaban relatif berubah-ubah

menyesuaikan suhu. RH 50% "± 5%", simbol "± 5%" menjelaskan adanya batas toleransi 5%, yaitu lebih 2,5% atau kurang 2,5% dari standar 50%, yang berarti tidak boleh kurang dari 47,5% dan lebih dari 52,5%. Suhu 20 °C "± 2 °C" ; simbol "± 2 °C " menjelaskan adanya batas toleransi 2 °C, yaitu lebih satu atau kurang satu dari standar 20°C, yang berarti tidak boleh kurang dari 19 °C dan lebih dari 21 °C.

Kelembaban dapat diukur dengan berbagai macam cara, maka pada perancangan alat ini digunakan sensor kelembaban RHK1AN. Untuk dapat mengambil sinyal hasil pengukuran dari sensor kelembaban, maka diperlukan rangkaian pengkondisi sinyal pada sensor tersebut.

Untuk menjaga kondisi sensor RHK1AN terhindar dari gangguan korosi akibat perubahan kondisi udara maka sebelumnya diberikan tegangan AC dengan suatu pembangkit tegangan AC. IC555 diatur sesuai frekuensi antara 50 Hz sampai 1 KHz dengan amplitudo 1 V ($V_{rms} = 1$ V). Dan IC555 dikondisikan dengan Resistansi dan Tegangan maka akan menghasilkan clock dengan diberikan tegangan ± 5 V sebagai fluktuasinya. Kemudian dimasukkan ke Trimpot 10 K dan 2 K = 5 K. Menjadi 1 V, yaitu 0.5 V keatas dan 0.5 V kebawah. Selanjutnya dimasukkan ke RHK1AN dan diberi pembagi tegangan 10 M maka hasil keluarannya tetap 0.5 V karena adanya suatu pembanding. Dan diberi pembagi tegangan 1X lagi. Sehingga total penguatannya sebanyak 2X yang hasil akhirnya langsung dimasukkan ke ADC.

Rancangan pengkondisi sinyal untuk sensor kelembaban udara ini terdiri dari beberapa bagian yaitu: pembangkit tegangan AC, pengkondisi sinyal.



Gambar 3.12.
Rangkaian Pembangkit Tegangan AC

Diketahui:

$$R = 10 \text{ K}\Omega$$

$$C = 100 \text{ nF}$$

Sehingga:

$$f = \frac{0.72}{R.C}$$

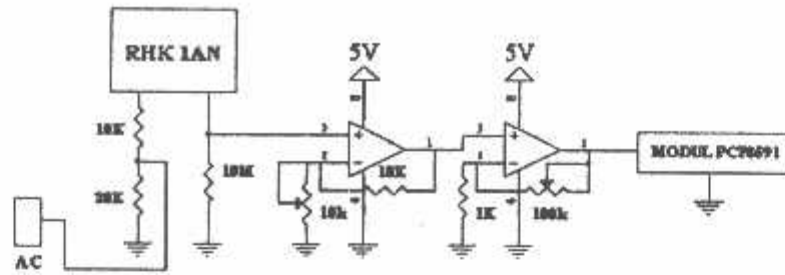
$$f = \frac{0.72}{(10.10^3).(100.10^{-9})}$$

$$f = \frac{0.72}{1.10^{-3}}$$

$$f = 720 \text{ Hz}$$

Jika dilihat pada datasheet sensor RHK1AN, frekuensi yang dibutuhkan oleh sensor RHK1AN adalah antara 50 Hz sampai 1 KHz. Sehingga frekuensi yang dihasilkan oleh IC555 ini sudah sesuai dan memenuhi syarat.

Setelah pembangkit tegangan AC maka diberikan sebuah IC358 berupa pembatas tegangan 5 Volt agar tegangan AC yang diberikan terhadap RHK1AN tidak melebihi dari 5 Volt.



Gambar 3.13.
Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor Kelembaban

Kemudian sinyal dari sensor dikuatkan lagi oleh penguat *non-inverting* yang penguatannya dapat dihitung:

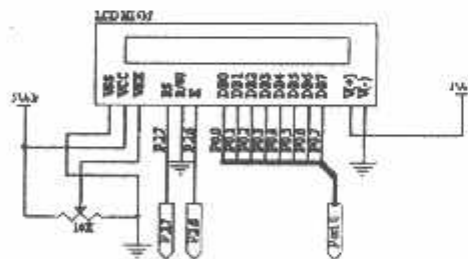
$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_i}$$

$$V_{out} = A_v \times V_{in}$$

$$= \left(1 + \frac{R_f}{R_i} \right) \times V_{in}$$

3.1.5. LCD (*Liquid Crystal Display*)

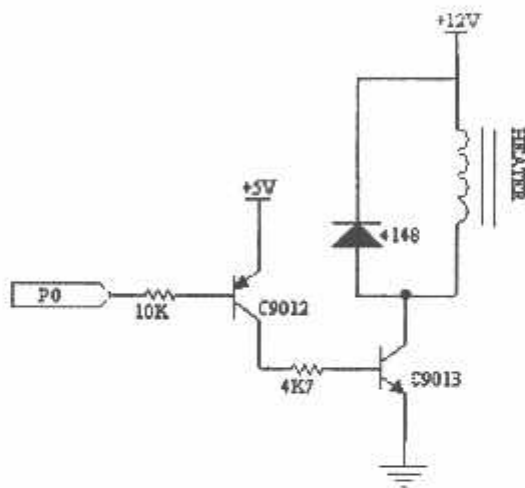
Bagian utama dari rangkaian ini adalah penampil karakter LCD 16 x 2 baris. Potensio berfungsi untuk mengatur kecerahan layar LCD. RS (*Register Select*) dan *Enable* pada pin 4 dan pin 6 yang merupakan kontrol dari LCD. Saluran data (*data bus*) dihubungkan ke port 0 mikrokontroler.



Gambar 3.14.
Rangkaian LCD

3.1.6. Rangkaian Driver Pemanas

Untuk perancangan driver *heater* (pemanas) digunakan relay1 untuk menggerakkannya dan karena *heater* disini memakai supply tegangan 12 V. Sedangkan tegangan output maksimal dari mikrokontroller adalah 5 Volt maka diperlukan rangkaian driver untuk mengendalikannya. Pada driver *heater* ini digunakan penguat transistor, dimana transistor ini difungsikan dalam kondisi cut off dan saturasi atau dapat dikatakan transistor ini berfungsi sebagai saklar. Rangkaian driver yang dipakai berupa relay, untuk analisa data yang digunakan:



Gambar 3.15.
Rangkaian Driver Pemanas

Dari transistor C9013 diketahui:

$$I_C = 100 \text{ mA}$$

$$H_{fe} = 110$$

$$V_{C(SAT)} = 0,16 \text{ Volt}$$

$$V_{BE} = 0,7 \text{ Volt}$$

Sehingga:

$$I_c = Hfe.I_B$$

$$I_B = \frac{I_c}{Hfe}$$

$$I_B = \frac{100.10^{-3}}{110}$$

$$I_B = 0,909mA$$

R_B untuk Transistor 9013:

$$5 - V_{C(SAT)} - I_B.R_B - V_{BE} = 0$$

$$5 - 0,16 - 0,909.10^{-3}.R_B - 0,7 = 0$$

$$4,84 - 0,909.R_B - 0,7 = 0$$

$$R_B = \frac{4,84 - 0,7}{0,909.10^{-3}}$$

$$R_B = 4,55K\Omega$$

Karena nilai resistor 4,55 K Ω tidak ada dipasaran maka digunakan resistor yang mendekati yaitu 4,7 K Ω .

Dan dari transistor 9012 diketahui:

$$V_{EE} = 5 \text{ Volt}$$

$$Hfe = 120$$

$$I_{E1} = 50 \text{ mA}$$

$$V_{BE} = 0,7 \text{ Volt}$$

Sehingga:

$$I_c = Hfe.I_B$$

$$I_B = \frac{I_c}{Hfe}$$

$$I_B = \frac{50.10^{-3}}{120}$$

$$I_B = 0,416mA$$

R_B untuk Transistor 9013:

$$R_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{I_B}$$

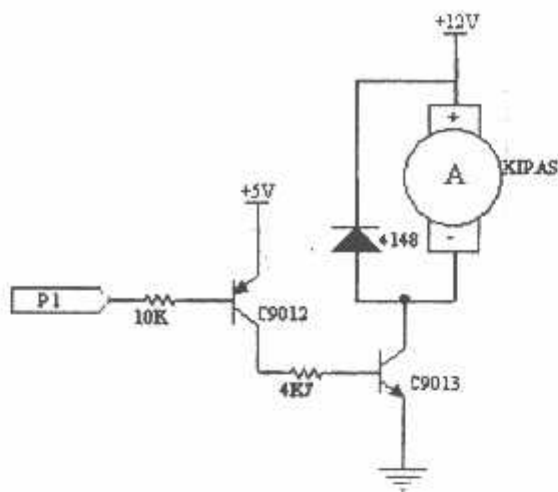
$$R_B = \frac{5 - 0,7}{0,416.10^{-3}}$$

$$R_B = 10,33K\Omega$$

Karena nilai resistor 10,33 $K\Omega$ tidak ada dipasaran maka digunakan resistor yang mendekati yaitu 10 $K\Omega$.

3.1.7. Rangkaian Driver Fan

Fan digunakan untuk membuang udara panas didalam ruangan keluar, selain itu fan berfungsi untuk sirkulasi udara. Untuk menggerakkan fan ini dengan cara memutar motor DC yang terdapat pada fan. Pada driver fan ini digunakan penguat transistor, dimana transistor ini terdiri dari transistor NPN 9013 dan transistor PNP 9012 yang difungsikan dalam kondisi cut off dan saturasi atau dapat dikatakan transistor ini berfungsi sebagai saklar (*switching*). Driver fan diberi dioda yang dirangkai paralel dengan tujuan untuk menghindari tegangan mundur yang dibangkitkan oleh relay sehingga tidak merusak transistor.. Rangkaian *driver* Fan ditunjukkan dalam Gambar 3.16.



Gambar 3.16.
Rangkaian Driver Fan

Dari transistor C9013 diketahui:

$$I_C = 100 \text{ mA}$$

$$H_{fe} = 110$$

$$V_{C(SAT)} = 0,16 \text{ Volt}$$

$$V_{BE} = 0,7 \text{ Volt}$$

Sehingga:

$$I_C = H_{fe} I_B$$

$$I_B = \frac{I_C}{H_{fe}}$$

$$I_B = \frac{100 \cdot 10^{-3}}{110}$$

$$I_B = 0,909 \text{ mA}$$

R_B untuk Transistor 9013:

$$5 - V_{C(SAT)} - I_B R_B - V_{BE} = 0$$

$$5 - 0,16 - 0,909 \cdot 10^{-3} \cdot R_B - 0,7 = 0$$

$$4,84 - 0,909 \cdot R_B - 0,7 = 0$$

$$R_B = \frac{4,84 - 0,7}{0,909 \cdot 10^{-3}}$$

$$R_B = 4,55 \text{ K}\Omega$$

Karena nilai resistor $4,55 \text{ K}\Omega$ tidak ada dipasaran maka digunakan resistor yang mendekati yaitu $4,7 \text{ K}\Omega$.

Dan dari transistor 9012 diketahui:

$$V_{EE} = 5 \text{ Volt}$$

$$H_{fe} = 120$$

$$I_{E1} = 50 \text{ mA}$$

$$V_{BE} = 0,7 \text{ Volt}$$

Sehingga:

$$I_C = H_{fe} I_B$$

$$I_B = \frac{I_C}{H_{fe}}$$

$$I_B = \frac{50 \cdot 10^{-3}}{120}$$

$$I_B = 0,416 \text{ mA}$$

R_B untuk Transistor 9013:

$$R_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{I_B}$$

$$R_B = \frac{5 - 0,7}{0,416 \cdot 10^{-3}}$$

$$R_B = 10,33 K\Omega$$

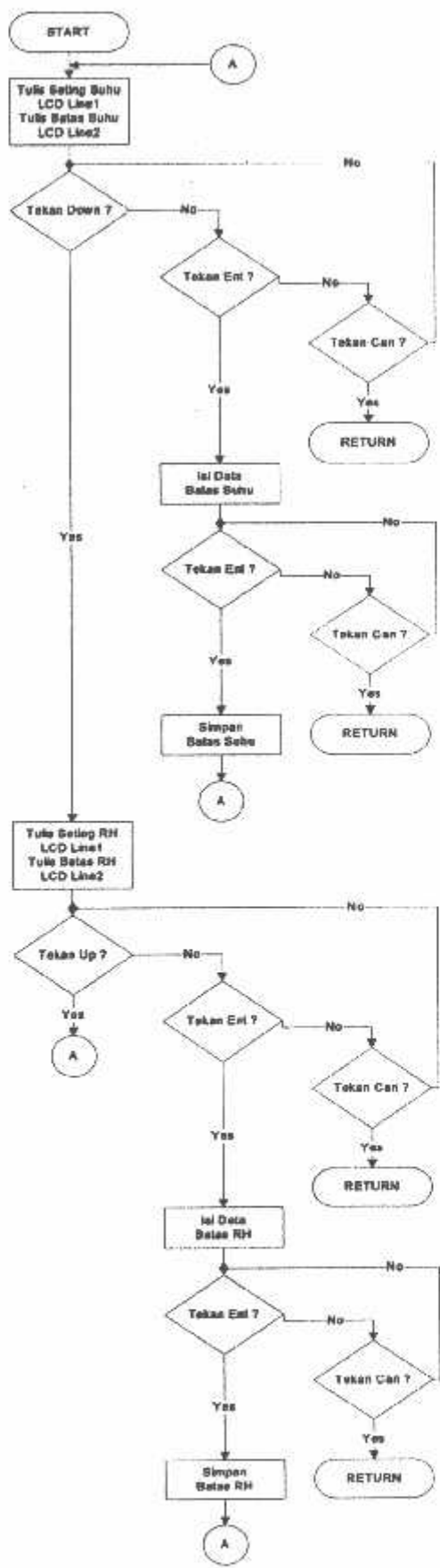
Karena nilai resistor 10,33 K Ω tidak ada dipasaran maka digunakan resistor yang mendekati yaitu 10 K Ω .

3.2. Perencanaan Perangkat Lunak (*Software*)

Untuk mendukung *hardware* yang sudah dibuat, maka dibutuhkan perangkat lunak (*software*) supaya perangkat keras tersebut bisa berjalan sesuai dengan tujuan. Mikrokontroler dapat mengendalikan seluruh sistem apabila ada urutan instruksi yang mendefinisikan secara jelas urutan kerja yang harus dilaksanakan. Dalam perancangan alat ini perangkat lunak yang digunakan adalah bahasa pemrograman *assembler*.

Sebelum membuat perangkat lunak, terlebih dahulu dibuat diagram alir (*flowchart*) dari proses yang akan dibuat supaya memudahkan dalam pembuatan perangkat lunak (*software*).

3.2.1. Flowchart Program Utama



BAB IV

PENGUJIAN ALAT

Dalam bab ini membahas tentang pengujian dan pengukuran dari peralatan yang dibuat. Secara umum pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah alat yang telah direalisasikan dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi perencanaan yang telah ditetapkan.

4.1. Pengujian Sensor Suhu

4.1.1. Pengujian Rangkaian Sensor LM 35

a. Tujuan

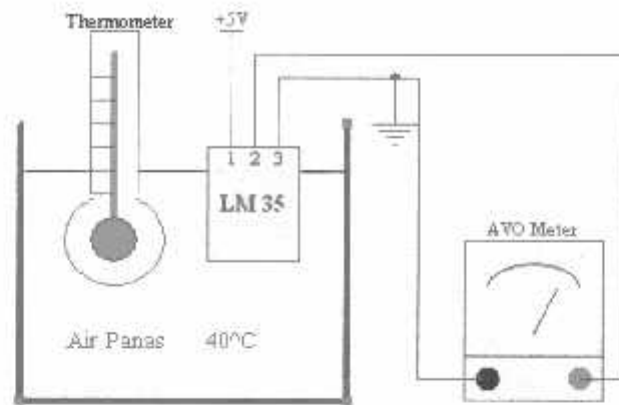
Untuk mengetahui besarnya tegangan output dari sensor *temperature* LM 35 berdasarkan perubahan *temperature* dari ruangan.

b. Peralatan yang digunakan

- Rangkaian yang akan diuji
- Voltmeter Digital (DT-930T)
- Sumber Tegangan +5 Volt
- Air Panas
- Termometer

c. Langkah-langkah pengujian

1. Merangkai rangkaian seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.1.

Rangkaian Pengujian Sensor Suhu

2. Menghubungkan kaki IC LM 35 dengan tegangan DC +5 Volt pada kaki untuk Vcc, dengan Ground, dan kaki Vout ke Multimeter.
3. Meletakkan sensor LM 35, Air panas, dan Termometer pada satu tempat.
4. Melakukan pengukuran pada kaki output IC LM 35 dari suhu tinggi sampai suhu menurun sesuai berubahnya suhu air.

d. Analisa

Dari pengukuran dan pengamatan diuji apakah sensor suhu bekerja sesuai dengan input atau perubahan *temperature* ruangan.

Untuk hasil perhitungan dari sensor suhu dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_{out} = 10mV \times 'T'$$

Dimana:

10mV = ketetapan tegangan setiap kenaikan 1°C

T = perubahan *temperature*

Contoh: Jika diketahui pada termometer menunjukkan *temperature* sebesar 25,1°C. Maka berapakah tegangan output yang dikeluarkan oleh LM 35?

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} V_{out} &= 10 \times 25,1 \\ &= 251 \text{ mV} \end{aligned}$$

Berikut merupakan tabel perbandingan tegangan output antara hasil pengukuran dan hasil perhitungan dari sensor suhu LM 35:

Tabel 4.1.
Perbandingan Tegangan Output Hasil
Perhitungan Suhu dari LM35 dengan Pengukuran Thermometer

Pengujian ke-	Pengukuran Suhu dengan Termometer (°C)	Tegangan Output (mV)	
		Hasil Perhitungan	Hasil Pengukuran
1	25,1	251	252
2	26,1	261	261
3	27,2	272	271
4	28,1	281	281
5	29,1	291	290
6	30	300	300
7	31	310	311
8	32,2	322	323
9	33,1	331	331
10	34,2	342	342
11	35,2	352	351
12	36,3	363	362
13	37,2	372	371
14	38	380	380
15	39,2	392	391
16	40,3	403	402



Gambar 4.2.

Perbandingan Termometer dan Voltmeter Digital (DT-930T)

Setiap kenaikan tegangan $10 \text{ mV} \approx 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, maka dari hasil pengukuran sensor suhu LM 35 dapat dihitung:

$$\text{PengukuranSuhu}(LM35) = \frac{V_{out_pengukuran}}{10mV}$$

Contoh: Jika diketahui pengukuran suhu dengan Thermometer sebesar $25,1^{\circ}\text{C}$,

$V_{out(pengukuran)} = 252 \text{ mV}$. Berapakah pengukuran suhu dengan LM 35?

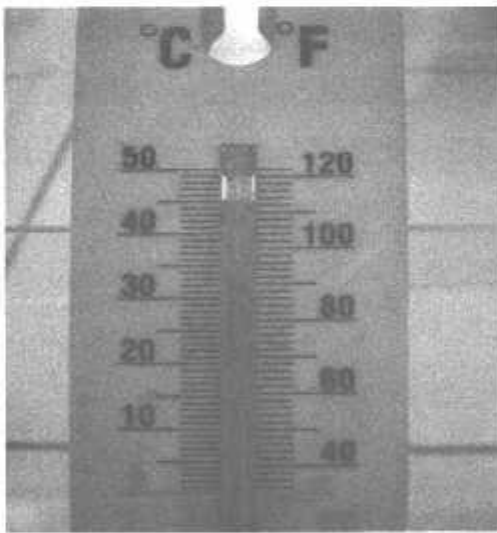
Penyelesaian:

$$\begin{aligned} \text{PengukuranSuhu}(LM35) &= \frac{252mV}{10mV} \\ &= 25,2 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Berikut merupakan tabel perbandingan antara pengukuran suhu menggunakan termometer dibandingkan dengan pengukuran suhu menggunakan sensor LM 35:

Tabel 4.2.
Perbandingan antara Pengukuran Suhu menggunakan Termometer
Dibandingkan dengan Pengukuran Suhu Menggunakan Sensor LM 35

Pengujian ke-	Pengukuran Suhu (°C)	
	Thermometer	Sensor LM 35
1	25,1	25,2
2	26,1	26,1
3	27,2	27,1
4	28,1	28,1
5	29,1	29
6	30	30
7	31	31,1
8	32,2	32,3
9	33,1	33,1
10	34,2	34,2
11	35,2	35,1
12	36,3	36,2
13	37,2	37,1
14	38	38,0
15	39,2	39,1
16	40,3	40,2



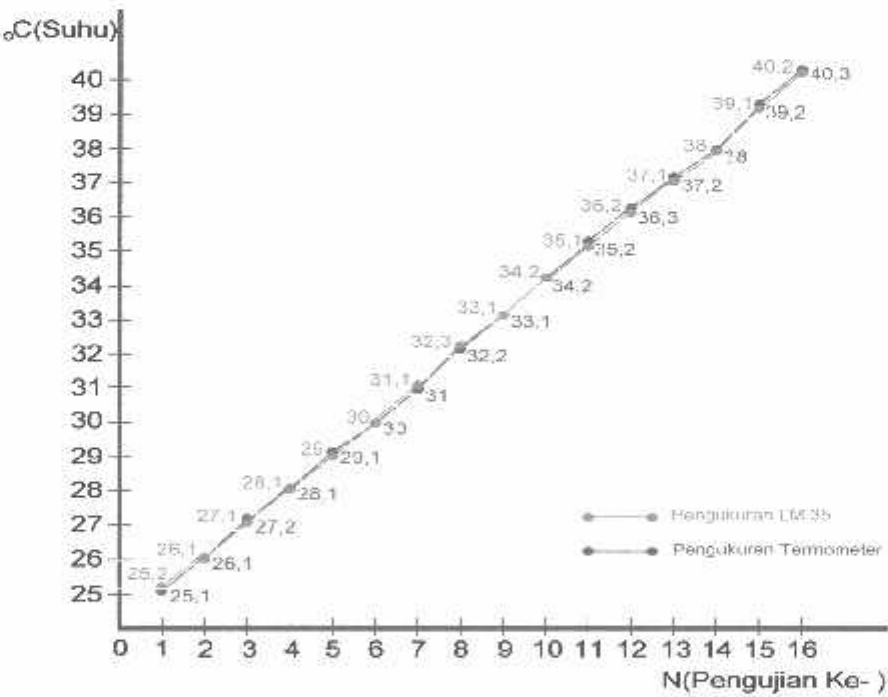
Gambar 4.3.
Tampilan Suhu Pada Termometer



Gambar 4.4.

Tampilan Suhu Pada LCD

Dari hasil pengujian sensor suhu menggunakan Termometer dan menggunakan LM 35 dengan 16 data pengujian, didapat grafik hubungan antara N(jumlah pengujian) dan suhu (°C) sebagai berikut:



Grafik 4.1.

Karakteristik Perbedaan Pengukuran Suhu Thermometer dan Suhu LM 35

Dan dari tabel 4.1. diatas dapat dicari persentase kesalahan (% Error) antara perhitungan dari sensor suhu dengan pengukuran termometer. Kesalahan dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$E = \left| \frac{\text{Pengukuran} - \text{Perhitungan}}{\text{Perhitungan}} \right| \times 100\%$$

Contoh: Jika diketahui hasil tegangan output pengukuran sebesar 252 mV dan tegangan output perhitungan 251 mV, maka persentase error/kesalahannya adalah:

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} E &= \left| \frac{(251 - 252)}{251} \right| \times 100\% \\ &= \frac{1}{251} \times 100\% \\ &= 0,4 \% \end{aligned}$$

Dengan rumus diatas dapat diketahui persentase kesalahan (error) dari alat yang dibuat seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4.3.
Persen Kesalahan (% Error) Tegangan Output Lm 35 antara
Hasil Pengukuran dengan Hasil Perhitungan

Pengujian ke-	Tegangan Output Perhitungan (mV)	Tegangan Output LM 35 (mV)	Kesalahan (Error) (%)
1	251	252	0,4
2	261	261	0
3	272	271	0,37
4	281	281	0
5	291	290	0,34
6	300	300	0
7	310	311	0,32
8	322	323	0,3
9	331	331	0
10	342	342	0
11	352	351	0,28
12	363	362	0,28
13	372	371	0,27
14	380	380	0
15	392	391	0,26
16	403	402	0,25
% Kesalahan (Error) rata-rata			0,19

Dari tabel 4.3. tersebut didapatkan bahwa kesalahan (Error) rata-rata dalam persen adalah 0,19%. Dari pengamatan pengujian alat, kesalahan terjadi karena faktor keakuratan dan kepresisian komponen yang digunakan serta alat ukur yang digunakan.

4.1.2. Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor Suhu

a. Tujuan

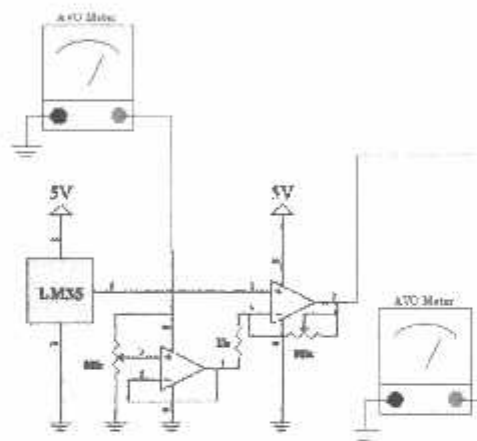
Untuk mengetahui apakah rangkaian pengkondisi sinyal bekerja sesuai dengan yang diharapkan.

b. Peralatan yang digunakan

- Rangkaian yang akan diuji
- 2 buah Multimeter digital (DT903T, M300)
- Sumber tegangan +5 Volt
- Air panas
- Termometer

c. Langkah-langkah Pengujian

1. Merangkai rangkaian seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.5.

Rangkaian Pengujian Pengkondisi Sinyal

2. Menghubungkan sumber tegangan +5 Volt untuk catu daya IC LM358 dan LM 35.
3. Menghubungkan kaki Vout LM 35 ke Voltmeter dan menghubungkan Vout dari pengkondisi sinyal ke Voltmeter.
4. Meletakkan sensor LM 35, Air panas, dan Termometer pada satu tempat.

5. Melakukan pengukuran pada kaki output IC LM 35 dan pengukuran output rangkaian pengkondisi sinyal dari suhu tinggi sampai suhu menurun sesuai berubahnya suhu air.

d. Analisa

Untuk perhitungan tegangan output dari rangkaian pengkondisi sinyal dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut:

$$V_{out} = A_v \times V_{in}$$

$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_i}$$

$$= \left(1 + \frac{10K}{1K} \right)$$

$$= 11 \text{ kali}$$

Dimana:

V_{in} = tegangan input (V)

A_v = penguatan dari differensial amplifier (kali)

Contoh: Jika diketahui tegangan input sebesar 0,252 Volt, maka berapakah tegangan output dari penguat pada rangkaian pengkondisi sinyal?

Penyelesaian:

$$V_{out} = 11 \times 0,252$$

$$= 2,77 \text{ Volt}$$

Dari pengukuran dan perhitungan tegangan output rangkaian pengkondisi sinyal dapat ditunjukkan dalam tabel 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4.4.
Hasil Pengujian Rangkaian
Pengkondisi Sinyal Sensor Suhu

Pengujian ke-	Tegangan Input (Volt)	Tegangan Output (Volt)	
		Perhitungan	Pengukuran
1	0,252	2,77	2,80
2	0,261	2,87	2,87
3	0,271	2,98	2,99
4	0,281	3,09	3,09
5	0,294	3,23	3,10
6	0,3	3,3	3,33
7	0,311	3,42	3,45
8	0,323	3,55	3,57
9	0,331	3,64	3,67
10	0,342	3,76	3,78
11	0,351	3,86	3,86
12	0,362	3,98	3,98
13	0,371	4,08	4,1
14	0,38	4,18	4,21
15	0,391	4,3	4,31
16	0,402	4,42	4,45



Gambar 4.6.
Multimeter Digital DT903T dan M300

Dari hasil pengujian Rangkaian pengkondisi sinyal sensor suhu diatas diperoleh:

$$\Sigma V_{out(pengukuran)} = 57,5 \text{ Volt}$$

$$\Sigma V_{in} = 5,223 \text{ Volt}$$

Dan penguatan rata-rata pada alat sebenarnya bisa dihitung dengan menggunakan rumus:

$$A_v = \frac{\Sigma V_{out(pengukuran)}}{\Sigma V_{in}}$$

$$A_v = \frac{57,5}{5,223}$$

$$= 11,008 \approx 11 \text{ kali (} A_v \text{ perencanaan} = 11 \text{ kali)}$$

Dari tabel 4.4 diatas dapat dicari persentase kesalahan (%error) dari rangkaian pengkondisi sinyal. Untuk persentase kesalahan dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E = \left| \frac{Pengukuran - Perhitungan}{Perhitungan} \right| \times 100\%$$

Contoh: Jika diketahui hasil tegangan output perhitungan sebesar 2,77 Volt dan tegangan hasil pengukuran sebesar 2,80 Volt maka persentase error atau kesalahan adalah?

Penyelesaian:

$$E = \left| \frac{2,80 - 2,77}{2,77} \right| \times 100\%$$

$$E = 1,08\%$$

Dengan rumus diatas dapat diketahui persentase kesalahan (error) dari alat yang dibuat seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.5. berikut:

Tabel 4.5.
Presentase Kesalahan (Error) Pengujian
Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor Suhu

Pengujian ke-	Tegangan Output (Volt)		% Kesalahan (Error)
	Perhitungan	Pengukuran	
1	2,77	2,80	1,08
2	2,87	2,87	0
3	2,98	2,99	0,33
4	3,09	3,09	0
5	3,23	3,10	0,4
6	3,3	3,33	0
7	3,42	3,45	0.3
8	3,55	3,57	0,56
9	3,64	3,67	0,82
10	3,76	3,78	0,53
11	3,86	3,86	0
12	3,98	3,98	0
13	4,08	4,1	0,49
14	4,18	4,21	0,71
15	4,3	4,31	0,23
16	4,42	4,45	0,67
Persentase (%) kesalahan rata-rata			0,38

Dari hasil pengujian suhu menggunakan Termometer (sebagai alat ukur suhu sebenarnya) dan menggunakan sensor LM 35 (tampilan LCD) dengan 16 data pengujian, dapat dibuat tabel:

Tabel 4.6.
Perbandingan Tampilan Suhu pada LCD dan Termometer

Pengujian ke-	Tampilan Suhu (°C)		% Kesalahan (Error)
	Termometer	LCD	
1	40	40	0
2	39	39	0
3	38	38	0
4	37	37	0
5	36	36,2	0,55
6	35	35,3	0,86
7	34	34,4	1,17
8	33	33,5	1,5
9	32	32,3	0,94
10	31	31,4	1,29
11	30	30,5	1,67
12	29	29,6	2,07
13	28	28,5	1,78
14	27	27,4	1,48
15	26	26,4	1,54
16	25	25,3	1,2
Persentase (%) kesalahan rata-rata			1,003

4.2. Pengujian Sensor Kelembaban

4.2.1. Pengujian Rangkaian Pembangkit Tegangan AC

a. Tujuan

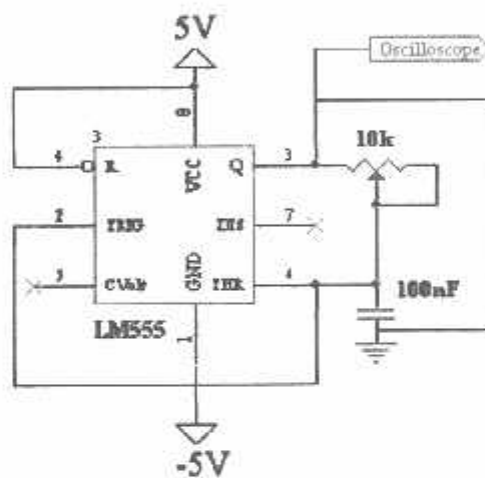
Untuk mengetahui besar frekuensi dan tegangan yang dibangkitkan oleh rangkaian IC555 telah sesuai dengan yang dibutuhkan oleh sensor kelembaban (RHK1AN) yaitu dengan frekuensi berkisar antara 50 Hz sampai 1 KHz dengan V_{rms} sebesar 1 V.

b. **Peralatan yang digunakan**

- Rangkaian pengujian IC555
- Oscilloscope

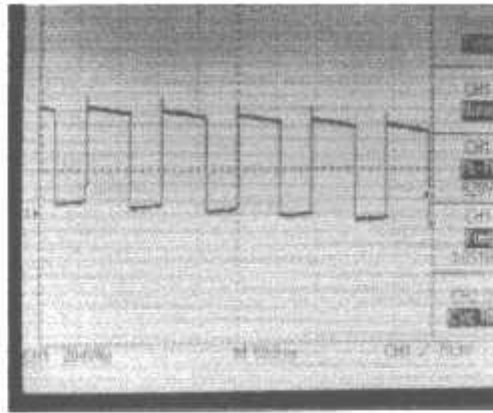
c. **Langkah pengujian**

Pengujian dilakukan dengan cara melihat sinyal output *Oscilator*, yaitu pada pin output IC555 (Pin 3), *Oscilloscope* diset pada 620 V / div dan 1.00 ms /div, Probe merah pada *Oscilloscope* dipasang pada pin 3 pada IC555 dan probe hitam *Oscilloscope* dipasang pada *ground*.



Gambar 4.7.
Rangkaian Pengujian Pembangkit Tegangan AC

Sinyal yang dihasilkan oleh Pembangkit Tegangan AC tersebut terlihat seperti pada gambar 4.7. dengan frekuensi yang dihasilkan sebesar 1,051 KHz dengan V_{rms} sebesar 989,9 V pada Volt / div sebesar 500 mV dan Time / div sebesar 1 ms.



Gambar 4.8.

Sinyal Output Pembangkit Tegangan AC

d. Analisa

Hasil pengujian yang terlihat pada oscilloscope memastikan bahwa bentuk sinyal yang dihasilkan yaitu berupa sinyal clock. Pada oscilloscope pembacaan frekuensi yang dihasilkan 1,051 KHz. Sedangkan sinyal yang direncanakan 720 Hz, maka terdapat persentase kesalahan/error sebesar:

$$\begin{aligned}
 Error &= \left| \frac{\text{pengukuran} - \text{perencanaan}}{\text{nilai perencanaan}} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{1,051 \text{ KHz} - 720 \text{ Hz}}{1,051 \text{ KHz}} \right| \times 100\% \\
 &= \frac{0,331 \text{ KHz}}{1,051 \text{ KHz}} \times 100\% \\
 &= 3,14 \%
 \end{aligned}$$

4.2.2. Pengujian Rangkaian Sensor Kelembaban RHK1AN

a. Tujuan

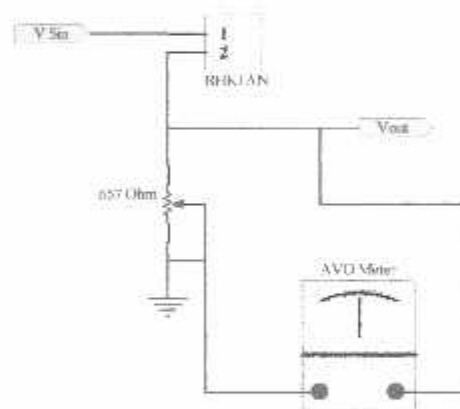
Untuk mengetahui besarnya tegangan output dari rangkaian sensor kelembaban RHK1AN berdasarkan perubahan kelembaban di ruangan.

b. Peralatan yang digunakan

- Rangkaian Pengujian Pengkondisi Sinyal Sensor Kelembaban
- Voltmeter Digital (DT9205B)
- Handuk Basah
- Hygrometer Digital (DEKKO 303C)

c. Langkah-langkah Pengujian

1. Merangkai rangkaian seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.9.

Rangkaian Sensor Kelembaban RHK1AN

2. Memberikan sinyal sinusoida pada V_{sin} (V_{in} rangkaian sensor RHK1AN).
3. Mengukur Tegangan Output rangkaian sensor terhadap Ground dengan menghubungkan probe merah Multimeter pada V_{out} (seperti pada gambar 4.9. diatas).

d. Analisa

Gambar di atas adalah rangkaian sensor yang terbentuk dari komponen RHK1AN sebagai sensor kelembaban dan sebuah Potensio yang diset pada 657 Ω konstan dengan :

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_1 + R_{RHK1AN}} \times V_{in}$$

Berdasarkan karakteristik RHK1AN bahwa untuk setiap kelembaban yang berbeda, RHK1AN memiliki nilai resistansi yang berbeda, yang akan mempengaruhi V_{out} yang masuk ke pengkondisi sinyal. Pada saat:

- Kelembaban 60 %.

$$R_{RHK1AN} = 65000 \Omega$$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } V_{out} &= \frac{657}{657 + 65000} \times 1 \\ &= 0,01 \text{ Volt} \end{aligned}$$

- Kelembaban 70 %

$$R_{RHK1AN} = 19500 \Omega$$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } V_{out} &= \frac{657}{657 + 19500} \times 1 \\ &= 0,032 \text{ Volt} \end{aligned}$$

- Kelembaban 74 %

$$R_{RHK1AN} = 12400 \Omega$$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } V_{out} &= \frac{657}{657 + 12400} \times 1 \\ &= 0,05 \text{ Volt} \end{aligned}$$

➤ Kelembaban 77 %

$$R_{RHK1AN} = 9000 \, \Omega$$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } V_{out} &= \frac{657}{657 + 9000} \times 1 \\ &= 0,068 \text{ Volt} \end{aligned}$$

➤ Kelembaban 80 %

$$R_{RHK1AN} = 6500 \, \Omega$$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } V_{out} &= \frac{657}{657 + 6500} \times 1 \\ &= 0,091 \text{ Volt} \end{aligned}$$

➤ Kelembaban 82 %

$$R_{RHK1AN} = 5100 \, \Omega$$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } V_{out} &= \frac{657}{657 + 5100} \times 1 \\ &= 0,114 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas dan dari hasil pengukuran dapat dibuat tabel perbandingan:

Tabel 4.7.
Perbandingan Tegangan Output Perhitungan dengan Pengukuran
Sensor Kelembaban RHK1AN

Kelembaban (%)	Resistansi KΩ	V _{OUTPUT}		Error (%)
		Perhitungan	Pengukuran	
60	65	0,01	0,01	0
70	19,5	0,032	0,03	6,25
74	12,4	0,05	0,05	0
77	9	0,068	0,07	2,94
80	6,5	0,091	0,09	1,09
82	5,1	0,114	0,11	3,5
Persentase (%) kesalahan rata-rata				2,29

4.2.3. Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor Kelembaban

a. Tujuan

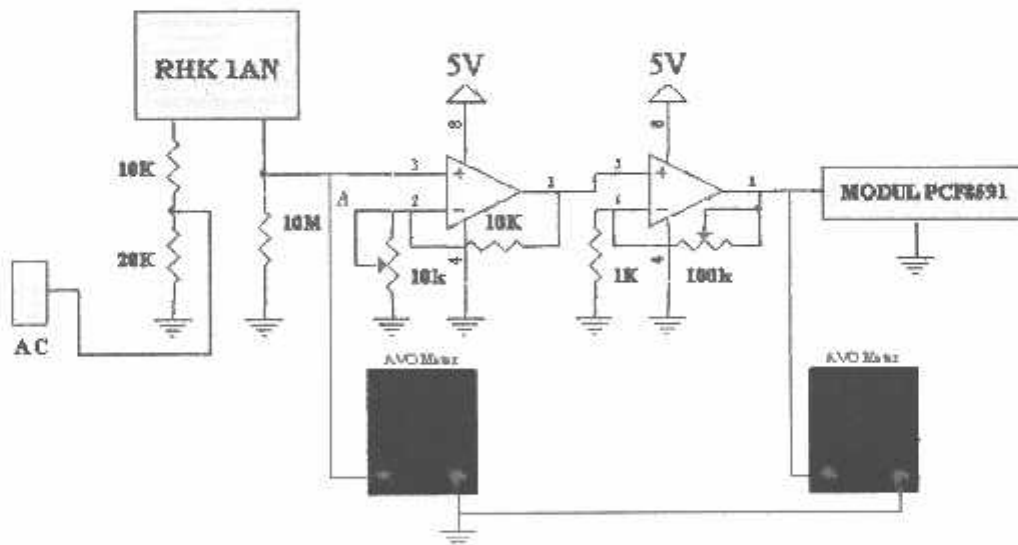
Untuk mengetahui tegangan maksimum dan tegangan minimum yang (*Relative Humidity*)

b. Peralatan yang digunakan

- Rangkaian Pengujian Pengkondisi Sinyal Sensor Kelembaban
- Voltmeter Digital (DT9205B, DT9202)
- Sumber Tegangan +12 dan -12 Volt
- Handuk Basah
- Hygrometer Digital (DEKKO 303C)

c. Langkah-langkah Pengujian

1. Merangkai rangkaian seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.10.

Rangkaian Pengujian Sensor Kelembaban

2. Menghubungkan sumber tegangan simetris +12 Volt dan -12 Volt untuk catu daya IC LM358.
3. Setting Multimeter pada V_{AC} 20 mV, dan menghubungkan salah satu probe Multimeter di titik A dan lainnya di Ground. Hasil yang terlihat pada Multimeter merupakan output RHK1AN.
4. Setting Multimeter yang lain pada V_{DC} 20 mV, dan menghubungkan probe merah Multimeter di titik B dan probe hitam di Ground. Hasil yang terlihat pada Multimeter merupakan output dari pengkondisi sinyal yang sudah disearahkan.

d. Analisa

Dari hasil perancangan pada Bab III, didapatkan nilai R_f dan R_i sebagai berikut :

$$R_f = 45 \text{ K}\Omega$$

$$R_i = 1 \text{ K}\Omega$$

Sehingga:

$$A_v = -\frac{R_f}{R_i}$$

$$A_v = -\frac{45 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3}$$

$$A_v = 45$$

Penguatannya 45 kali

Dan:

$$V_{out} = A_v \times V_{in}$$

$$V_{out} = 45 \times V_{in}$$

Dari hasil pengukuran diperoleh :

Tabel 4.8.
Perbandingan Tegangan Output Hasil
Perhitungan Pengukuran Pengkondisi Sinyal Sensor Kelembaban

Vin V _{rms}	Vout (V _{rms})	
	Perhitungan	Pengukuran
0,01	0,45	0,43
0,03	1,35	1,31
0,05	2,25	2,23
0,07	3,15	3,11
0,09	4,05	4,02
0,11	4,95	4,91

Dari tabel diatas dapat dicari persentase kesalahan (%error) dari rangkaian pengkondisi sinyal. Untuk persentase kesalahan dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E = \left| \frac{Pengukuran - Perhitungan}{Perhitungan} \right| \times 100\%$$

Dengan rumus diatas dapat diketahui persentase kesalahan (error) dari alat yang dibuat seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4.9.
Presentase Kesalahan (Error) Pengujian
Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor Kelembaban

Vout (V _{rms})		Error (%)
Perhitungan	Pengukuran	
0,45	0,43	4,44
1,35	1,31	2,22
2,25	2,23	0,88
3,15	3,11	0,63
4,05	4,02	0,74
4,95	4,91	0,8
Persentase (%) kesalahan rata-rata		1,62

4.3. Pengujian Driver Heater / Relay 1

a. Tujuan

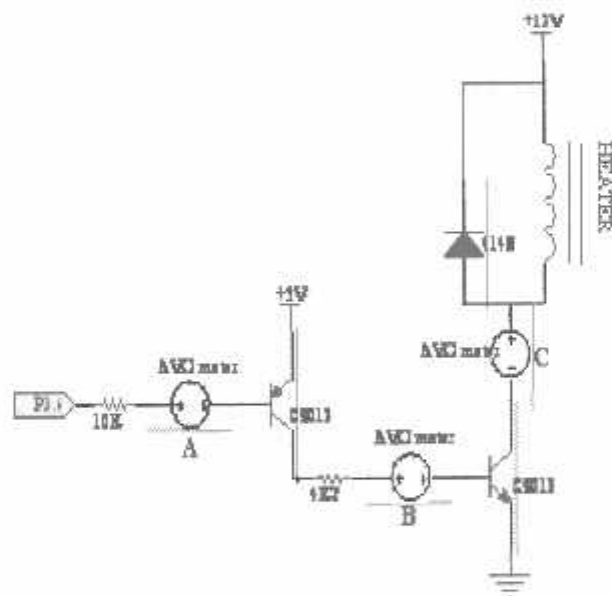
Untuk mengetahui apakah driver ini dapat menggerakkan atau mengaktifkan motor AC dalam hal ini *Heater* / Pemanas.

b. Peralatan yang digunakan

- Rangkaian pengujian (Driver Heater / Relay 1)
- 3 buah Multimeter (DT9205B, DT9202)
- Sumber tegangan +5 dan +12 Volt
- *Heater* +12 Volt

c. Langkah-langkah Pengujian

1. Merangkai rangkaian driver seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.11.
Rangkaian Pengujian Driver DC Heater

2. Melakukan pengukuran dan pengamatan.

d. Analisa

Pada saat heater aktif (relay aktif), nilai yang didapatkan dari hasil pengukuran pada setiap multimeter di atas adalah sebagai berikut :

- i. I_B pada 9012 (AVO meter A) = 0,36 mA.
- ii. I_B pada 9013 (AVO meter B) = 0,85 mA.
- iii. I_C pada 9013 (AVO meter C) = 1,2 mA.

Dan diketahui :

$$\begin{aligned}R_{\text{heaterRelay1}} &= 150 \text{ ohm.} \\R_{B9013} &= 1 \text{ Kohm} \\R_{B9012} &= 10 \text{ Kohm} \\V_{CE9013} &= 0,6 \text{ Volt} \\V_{CE9012} &= 0,6 \text{ Volt} \\V_{OL} &= 0,5 \text{ Volt}\end{aligned}$$

Maka, untuk menentukan nilai Arus Kolektor pada 9013 adalah:

$$\begin{aligned}V_{CC} - I_C R_C - V_{CE} &= 0 \\I_C &= \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} \\&= \frac{12 - 0,6}{150} \\&= 76 \text{ mA}\end{aligned}$$

dan Arus Basis pada 9013 adalah :

$$I_B = \frac{V_{EE} - V_{CE(sat)} - 0,7}{R_B}$$

$$= \frac{5 - 0,6 - 0,7}{1000}$$

$$= 3,7 \text{ mA}$$

Arus Basis pada 9012 adalah :

$$I_B = \frac{V_{_{BE}} - 0,7 - V_{_{OL}}}{R_B}$$

$$= \frac{5 - 0,7 - 0,5}{10000}$$

$$= 0,38 \text{ mA}$$

Untuk Menghitung Error digunakan Rumus :

$$\%Error = \frac{(Pengukuran - Perhitungan)}{Perhitungan} \times 100\%$$

Tabel 4.10.

Tabel Hasil Pengukuran dan Perhitungan Driver Relay 1

Parameter	Perhitungan	Pengukuran	Error (%)
I _C 9013	76 mA	77,8 mA	2,36
I _B 9013	3,7 mA	4,17 mA	12,70
I _B 9012	0,38 mA	0,44 mA	15,79
Error rata-rata			10,28 %

4.4. Pengujian Driver Fan

a. Tujuan

Untuk mengetahui apakah driver ini dapat menggerakkan atau mengaktifkan motor DC dalam hal ini Fan / kipas.

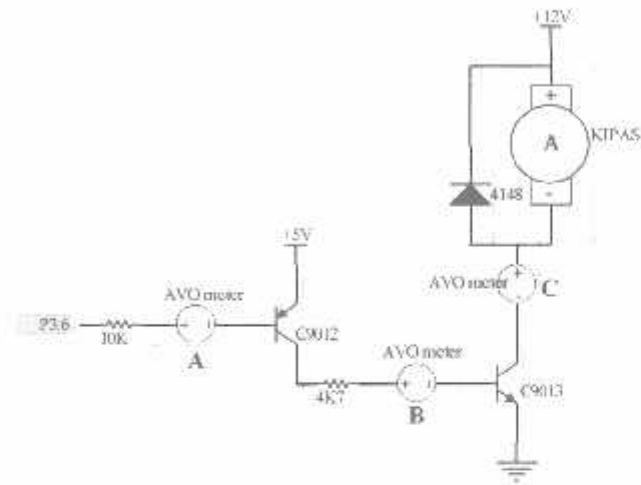
b. Peralatan yang digunakan

- Rangkaian pengujian (Driver Kipas)
- Sumber tegangan +5 dan +12 Volt

- Kipas DC.
- 3 buah Multimeter (DT9205B, DT9202)

c. Langkah-langkah Pengujian

1. Merangkai rangkaian driver seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.12.
Rangkaian Pengujian Driver DC Fan

2. Melakukan pengukuran dan pengamatan.

d. Analisa

Pada saat kipas aktif (motor berputar), nilai yang didapatkan dari hasil pengukuran pada setiap multimeter di atas adalah sebagai berikut :

- i. I_B pada 9012 (AVO meter A) = 0,36 mA.
- ii. I_B pada 9013 (AVO meter B) = 0,85 mA.
- iii. I_C pada 9013 (AVO meter C) = 1,2 mA.

Dan diketahui :

$$R_{KIPAS} = 10 \text{ Kohm.}$$

$$R_{B9013} = 4,7 \text{ Kohm}$$

$$R_{B9012} = 10 \text{ Kohm}$$

$$V_{CE9013} = 0,6 \text{ Volt}$$

$$V_{CE9012} = 0,6 \text{ Volt}$$

$$V_{OL} = 0,5 \text{ Volt}$$

Maka, untuk menentukan nilai Arus Kolektor pada 9013 adalah:

$$V_{CC} - I_C R_C - V_{CE} = 0$$

$$\begin{aligned} I_C &= \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} \\ &= \frac{12 - 0,6}{10K} \\ &= 1,14 \text{ mA} \end{aligned}$$

dan Arus Basis pada 9013 adalah :

$$\begin{aligned} I_B &= \frac{V_{EE} - V_{CE(sat)} - 0,7}{R_B} \\ &= \frac{5 - 0,6 - 0,7}{4700} \\ &= 0,78 \text{ mA} \end{aligned}$$

Arus Basis pada 9012 adalah :

$$\begin{aligned} I_B &= \frac{V_{EE} - 0,7 - V_{OL}}{R_B} \\ &= \frac{5 - 0,7 - 0,5}{10000} \\ &= 0,38 \text{ mA} \end{aligned}$$

Untuk Menghitung Error digunakan Rumus :

$$\%Error = \frac{(Pengukuran - Perhitungan)}{Perhitungan} \times 100\%$$

Tabel 4.11.

Tabel Hasil Pengukuran dan Perhitungan Driver Fan

Parameter	Perhitungan	Pengukuran	Error (%)
I_C 9013	1,14 mA	1,2 mA	5,26
I_B 9013	0,78 mA	0,85 mA	8,97
I_B 9012	0,38mA	0,43 mA	13,16
Error rata-rata			9,13 %

BAB V

PENUTUP

Pada bab ini penulis akan menyampaikan kesimpulan dan saran setelah melakukan pengujian pada alat pengontrol suhu dan monitoring kelembaban pada ruang operasi.

5.1. Kesimpulan

Setelah melakukan perencanaan, pembuatan dan pengujian pada alat pengontrol suhu dan monitoring kelembaban pada ruang operasi, dapat diambil kesimpulan :

1. Penguatan yang diperoleh dari V_{out} Op-Amp sensor suhu terdapat perbedaan antara pengukuran dan perhitungan menggunakan penguat *differensial* yaitu pada perhitungan penguatan diperoleh sebesar 10 kali tetapi pada pengukuran didapatkan penguatan sebesar 10,216 kali.
2. Prosentase kesalahan rata-rata V_{out} sensor dicari untuk mengetahui berapa besar selisih tegangan antara pengukuran dengan data sheet. Pada data sheet LM35 mengeluarkan tegangan output sebesar 10mV setiap kenaikan 1°C tetapi dalam pengukuran terdapat selisih tegangan. Pada table 4.3. diketahui prosentase kesalahan rata-ratanya sebesar 0,19 %.
3. Prosentase kesalahan rata-rata V_{out} Op-Amp sensor dicari untuk mengetahui berapa besar selisih penguatan antara pengukuran dengan perhitungan. Pada table 4.5. terdapat selisih tegangan antara perhitungan

dan pengukuran. Dari perhitungan dan pengukuran tersebut diketahui kesalahan rata-ratanya yaitu sebesar 0,28 %.

4. Berdasarkan pengujian rangkaian sensor kelembaban RHK1AN, dapat disimpulkan bahwa bahwa untuk setiap kelembaban yang berbeda, RHK1AN memiliki nilai resistansi yang berbeda, yang akan mempengaruhi V_{out} yang masuk ke pengkondisi sinyal.
5. Dalam sistem ini, sebagai acuan dalam proses *set-point* $29,0^{\circ}\text{C} - 32,0^{\circ}\text{C}$ adalah suhu, sedangkan pada kelembaban hanya pengukuran (*monitoring*).
6. Dan untuk *set-timming* di atas suhu *standart* pada *range* $30,0^{\circ}\text{C}$ adalah selama ± 1 menit 30 detik sedangkan untuk *set-timming* di bawah suhu *standart* pada *range* $28,9^{\circ}\text{C}$ adalah selama ± 7 menit 45 detik.

5.1. Saran

1. Dalam proses kalibrasi, sebaiknya dilakukan minimal dengan dua alat ukur yang memiliki kualitas baik, untuk mendapatkan hasil yang baik.
2. Untuk pengembangan selanjutnya sebaiknya ruangan yang dimonitor lebih dari 1
3. untuk *set-timming* di bawah suhu *standart* sebaiknya menggunakan fan yang lebih besar supaya udara yang dibuang lebih cepat.
4. Untuk software pada Mikrokontroller sebaiknya dilengkapi database yang akurat dari rumah sakit

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Daryanto, Drs, *Pengetahuan Teknik Elektronika*, Bumi Aksara, Jakarta, 2001.
 - 2) Malvino, Albert Paul, Hanapi Gunawan, *Prinsip-prinsip Elektronika*, Erlangga, Jakarta, 1990.
 - 3) Mismail, Budiono, *Dasar-dasar Rangkaian Logika Digital*, Penerbit ITB, Bandung, 1998.
 - 4) Santosa, P. Insap, Ir, *Teknik Digital*, Andi, Yogyakarta, 1996.
 - 5) Tokheim, Roger L., *Digital Electronics*, Erlangga, Jakarta, 1995.
 - 6) Atmel AT89C51, Datasheet Book.
 - 7) Paduan Pelatihan Mikrokontroller MCS-51, Lab. Pemeliharaan & Perbaikan Perancangan Elektronika, ITN Malang, 2006.
 - 8) Data Sheet I2c Bus PCF8591 8-Bit A/D and D/A Converter, <http://www.innovativeelectronics.com>
 - 9) Data sheet Analog Input Output DT-51 MinSys Ver. 3.0 ADDA, <http://www.innovativeelectronics.com>
 - 10) Sensor suhu LM35DZ, <http://www.alldatasheet.com>
 - 11) Sensor Kelembaban RHK1AN, <http://www.alldatasheet.com>
 - 12) Graphic LCD, <http://www.innovativeelectronics.com>
 - 13) www.atmel.com
 - 14) www.alldatasheet.com
 - 15) www.innovativeelectronics.com
-

LAMPIRAN





PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang betanda tangan dibawah ini :

Nama : HENDRIK. KURNIAWAN
NIM : 03.17.071
Semester : VII
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Elektronika / Teknik Energi Listrik
Alamat : Jln. Bendungan Jatiluhur No 16


Dengan ini kami mengajukan permohonan untuk mendapatkan persetujuan untuk membuat *SKRIPSI Tingkat Sarjana*. Untuk melengkapi permohonan tersebut, bersama kami lampirkan persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi.

Adapun persyaratan-persyaratan pengambilan *SKRIPSI* adalah sebagai berikut :

1. Telah melaksanakan semua praktikum sesuai dengan konsentrasinya (.....)
2. Telah lulus dan menyerahkan Laporan Praktek Kerja (.....)
3. Telah lulus seluruh mata kuliah keahlian (MKB) sesuai konsentrasinya (.....)
4. Telah menempuh mata kuliah ≥ 134 sks dengan IPK ≥ 2 dan tidak ada nilai E (.....)
5. Telah mengikuti secara aktif kegiatan seminar skripsi yang diadakan Jurusan (.....)
6. Memenuhi persyaratan administrasi (.....)

Demikian permohonan ini untuk mendapatkan penyelesaian lebih lanjut dan atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Telah diteliti kebenaran data tersebut diatas
Recording Teknik Elektro


(..... Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)

Malang, 19 Februari 2007

Pemohon


(..... HENDRIK KURNIAWAN)

Disetujui
Ketua Jurusan Teknik Elektro


Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP. P. 1039500274

Mengetahui
Dosen Wali


(..... YOSEPH PEDY IRAWAN, ST, MT)

atatan :

Aggi mahasiswa yang telah memenuhi persyaratan mengambil SKRIPSI agar membuat proposal dan mendapat persetujuan dari Ketua Jurusan/Sekretaris Jurusan T. Elektro S-1

195 215.5 / 195 3.07 24

- praktikum mikroprosesor lanjut
- MC \rightarrow M. P. p

Form. S-1a

KONVERSI PRAKTIKUM

Nama Mahasiswa : HENDRIK KUF NIAWAN
Nim : 03.17.031
Jenjang Program : Sarjana (S-1)
Tempat/Tgl. Lahir : SAMARINDA, 6 JUNI 1985
Fakultas : Teknologi Industri

Prodi/Konsentrasi : Teknik Elektro/Teknik Elektronika
Alamat di Malang : Jl. Gendungan, Jatiwatu No. 16
Alamat Asal : Jl. Ir. H. Juanda No. 20/1A (KALTIM)
Nama Orang Tua : Yuliana Atmurt
Dosen Wali : Joseph Dedy Irawan, ST, MT

Kurikulum Lama

Praktik Lab	KODE	NAMA PRAKTIKUM	Indeks	sks	Nilai
1	DEN-112	Praktikum Komputer	1	1	A
	KEN-522	Fisika	2		A
	KEN-522	Rangkaian Listrik	3		B+
	KEN-522	Elektronika	4	1	A
	KEN-522	Dasar Konversi Energi Listrik	5		B+
2	KEN-623	Dasar Sistem Kendali	6		B
	KEN-623	Rangkaian Logika	7		B+
	KEN-623	Dasar Sistem Telekomunikasi	8	1	C
	KEN-623	Perancangan Sistem Elektronika	9	2	B
	KEN-724	Pengukuran Elektronika	10	3	A
3	KEN-724	Mikroprosesor	11	1	A
	KEN-724	PLC (Beri Angkat)	12	3	A
	KEN-724	Fuzzy Logic	13		
Total sks			4		

Jumlah Kredit yang telah ditempuh : sks
Jumlah Kredit Yang belum ditempuh : sks
Indeks Prestasi Kumulatif = $\Sigma \text{sks} \times \text{Nilai} / \Sigma \text{Nilai}$

Kurikulum Baru



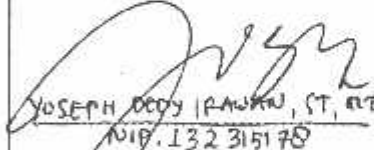
Praktik Lab	KODE	NAMA PRAKTIKUM	Indeks	sks	Nilai
1	EL-2215	Fisika	2		A
	EL-2215	Rangkaian Elektrik	3	1	B+
	EL-2215	Rangkaian Logika & Digital	7		B+
	EL-2215	Algoritma dan Pemrograman	1		A
	EL-4216	Dasar Elektronika	4		A
2	EL-4216	Dasar Sistem Telekomunikasi	8		C
	EL-4216	Mikrokontroler	11	1	-
	EL-4216	Sistem Pengukuran	10		-
	EL-4216	Dasar Sistem Kendali	6		A
	EL-5340	Dasar Konversi Energi	5		B+
3	EL-5340	Alat Ukur Elektronik	10	1	A
	EL-5340	Elektronika Analog	-		-
	EL-6341	Fuzzy Logic	13		-
4	EL-6341	Sistem Kendali Industri	12	1	A
	EL-6341	Perencanaan Sistem Digital	9		B
	EL-7342	Mikroprosesor Lanjut		3	A
	EL-7342	Instrumentasi Medika		1	-
	EL-7342	Periperal & Antar Muka			-
5	EL-7342	Instrumentasi Industri			-
	EL-7342	Instrumentasi Industri			-
Total sks			5		

4A Lab.
Mr. TtGWH



LEMBAR PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika*)

1.	Nama Mahasiswa: HENDRIK KURNIAWAN	Nim: 03.17.071
2.	Waktu Pengajuan	Tanggal: 29 Bulan: 02 Tahun: 2007
3.	Spesifikasi Judul (berilah tanda silang)**) a. Sistem Tenaga Elektrik e. Elektronika & Komponen b. Energi & Konversi Energi f. Elektronika Digital & Komputer c. Tegangan Tinggi & Pengukuran g. Elektronika Komunikasi d. Sistem Kendali Industri h. lainnya	
4.	Konsultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Dosen*) 	Ketua Jurusan  Ir. F. Yudi Limpraptono, MT NIP. P. 1039500274
5.	Judul yang diajukan mahasiswa:	"SISTEM PENGENDALI SUHU PADA RUANG RUMAH SAKIT UMUM BERBASIS I ² C"
6.	Perubahan judul yang disetujui Dosen sesuai materi bidang ilmu	"PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM MIKROKONTROLLER AT89C51 DENGAN MEMERAPKAN I ² C BUS PD SUHU KELEMBABAN RUANG OPERASI"
7.	Catatan: Persetujuan Judul skripsi yang dikonsultasikan kepada Dosen materi bidang ilmu	Disetujui, 29 Februari 2007 Dosen  JOSEPH DEDY IRAWAN, ST, MT NIP. 132 3151 78

Perhatian:

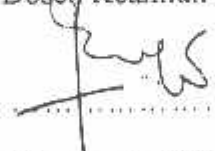


1. Formulir pengajuan ini harap dikembalikan kepada jurusan paling lambat satu minggu setelah disetujui kelompok dosen keahlian dengan dilampirkan proposal skripsi beserta persyaratan skripsi sesuai form S-1
2. Keterangan: *) Coret yang tidak perlu
**) dilingkari a, b, c,atau g sesuai bidang keahlian

Form S-2



**BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1**

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika

1	Nama Mahasiswa : HENDRIK KUFIAWAN	Nim : 03.17.071		
2	Keterangan Pelaksanaan	Tanggal : 17-09-2007	Waktu : 08.00 - 08.45	Tempat : Ruang Seminar W. 1
3	Spesifikasi judul :			
	a. Sistem Tenaga Elektrik	e. Elektronika & Komponen		
	b. Energi & Konversi Energi	<input checked="" type="radio"/> f. Elektronika Digital & Komputer		
	c. Tegangan Tinggi & Pengukuran	g. Elektronika Komunikasi		
	d. Sistem Kendali Industri	h. lainnya		
4	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	" Perancangan dan Pembuatan System Mikrokontroler AT89C51 dengan menerapkan I2C Bus pada suhu dan kelembaban ruang operasi "		
5	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian	" Perancangan dan Pembuatan System Ruang Operasi Monitoring suhu dan kelembaban dengan menerapkan I2C Bus berbasis Mikrokontroler AT89C51 "		
6	Catatan :			
Persetujuan Judul Skripsi :				
7	Disetujui, Dosen Keahlian I 	Disetujui, Dosen Keahlian II 		
	Mengetahui, Ketua Jurusan Ir. F. Yudi Limpraptono, MT Nip. Y. 1039500274	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs. 		

Perhatian :

*) coret yang tidak perlu

**) dilingkari a, b, c, atau g. sesuai bidang keahlian.

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
Jl. Bendungan Sigura-gura No.2
MALANG

Lampiran : 1 (satu Berkas)
Pembimbing Skripsi

Kepada : Yth. Bpk. Yoseph Dedy Irawan, ST, MT
Dosen Institut Teknologi Nasional
MALANG

Yang Bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Hendrik Kurniawan
Nim : 03.17.071
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Elektronika

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama / Pendamping dari 1 atau 2 Dosen Pembimbing, untuk penyusunan Skripsi dengan judul (proposal terlampir) :

**“Perancangan dan Pembuatan Sistem Mikrokontroller
AT89C51 Dengan Menerapkan I²C Bus
Pada Suhu Dan Kelembaban Ruang Operasi”**

Adapun tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akhir Sarjana Teknik.
Demikian permohonan kami dan atas ketersediaan Bapak kami ucapkan terima kasih.

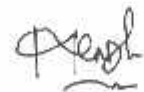
Malang, 28 Februari 2007

Ketua
Jurusan Teknik Elektro S-1



Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
Nip. 1039500274

Hormat kami,



Hendrik Kurniawan

Form S-3a



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Malang, 24 April 2007

Nomor : ITN-0268/7/TA /2007
Lampiran :
Perihal : Bimbingan Skripsi

Kepada : Yth. Sdr. Ir. F. YUDI LIMPRAPTONO, MT
Dosen Pembimbing
Jurusan Teknik Elektro S-1
di
Malang

Dengan hormat,
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam proposal skripsi
untuk mahasiswa:

Nama : HENDRIK KURNIAWAN
Nim : 0317071
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Elektronika

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya
kepada Saudara/i selama masa waktu 6 (enam) bulan, terhitung mulai
tanggal:

11 APRIL 2007 S/D 11 OKTOBER 2007

Sebagai satu syarat untuk menempuh Ujian sarjana.
Demikian atas perhatian serta kerjasama yang baik kami ucapkan
terima kasih



Ketua Jurusan
Teknik Elektro S-1

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP. Y. 4039500274

Form S-4a



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK**

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Malang, 24 April 2007

Nomor : ITN-0267/7/TA /2007
Lampiran :
Perihal : Bimbingan Skripsi

Kepada : Yth. Sdr. JOSEPH DEDY IRAWAN, ST, MT
Dosen Pembimbing
Jurusan Teknik Elektro S-1
di
Malang

Dengan hormat,
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam proposal skripsi
untuk mahasiswa:

Nama : HENDRIK KURNIAWAN
Nim : 0317071
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Elektronika

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya
kepada Saudara/i selama masa waktu 6 (enam) bulan, terhitung mulai
tanggal:

11 APRIL 2007 S/D 11 OKTOBER 2007

Sebagai satu syarat untuk menempuh Ujian sarjana.
Demikian atas perhatian serta kerjasama yang baik kami ucapkan
terima kasih



Ketua Jurusan
Teknik Elektro S-1

[Signature]
F. F. J. Limpraptono, MT
NIP. Y. 1039500274

Form S-4a



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Hendrik Kurniawan
NIM : 03.17.071
Masa Bimbingan : 17 April s/d 17 Oktober 2007
Judul Skripsi : "PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM MONITORING SUHU DAN KELEMBABAN RUANG OPERASI DENGAN MENERAPKAN I²C BUS BERBASIS MIKROKONTROLLER AT89C51"

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.		ALL Irawan	
9.			
10.			

Malang,
Dosen Pembimbing II

(Joseph Dedy Irawan, ST, MT)
NIP. 432 315 178



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Hendrik Kurniawan
NIM : 03.17.071
Masa Bimbingan : 17 April s/d 17 Oktober 2007
Judul Skripsi : "PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM MONITORING SUHU DAN KELEMBABAN RUANG OPERASI DENGAN MENERAPKAN I²C BUS BERBASIS MIKROKONTROLLER AT89C51"

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.		Bab I	
2.		Bab II	
3.		Bab III	
4.		Bab IV	
5.		Bab IV	
6.		Bab IV	
7.		Bab V	
8.		Bab V	
9.		Simpulan	
10.		Daftar Pustaka	

Malang,

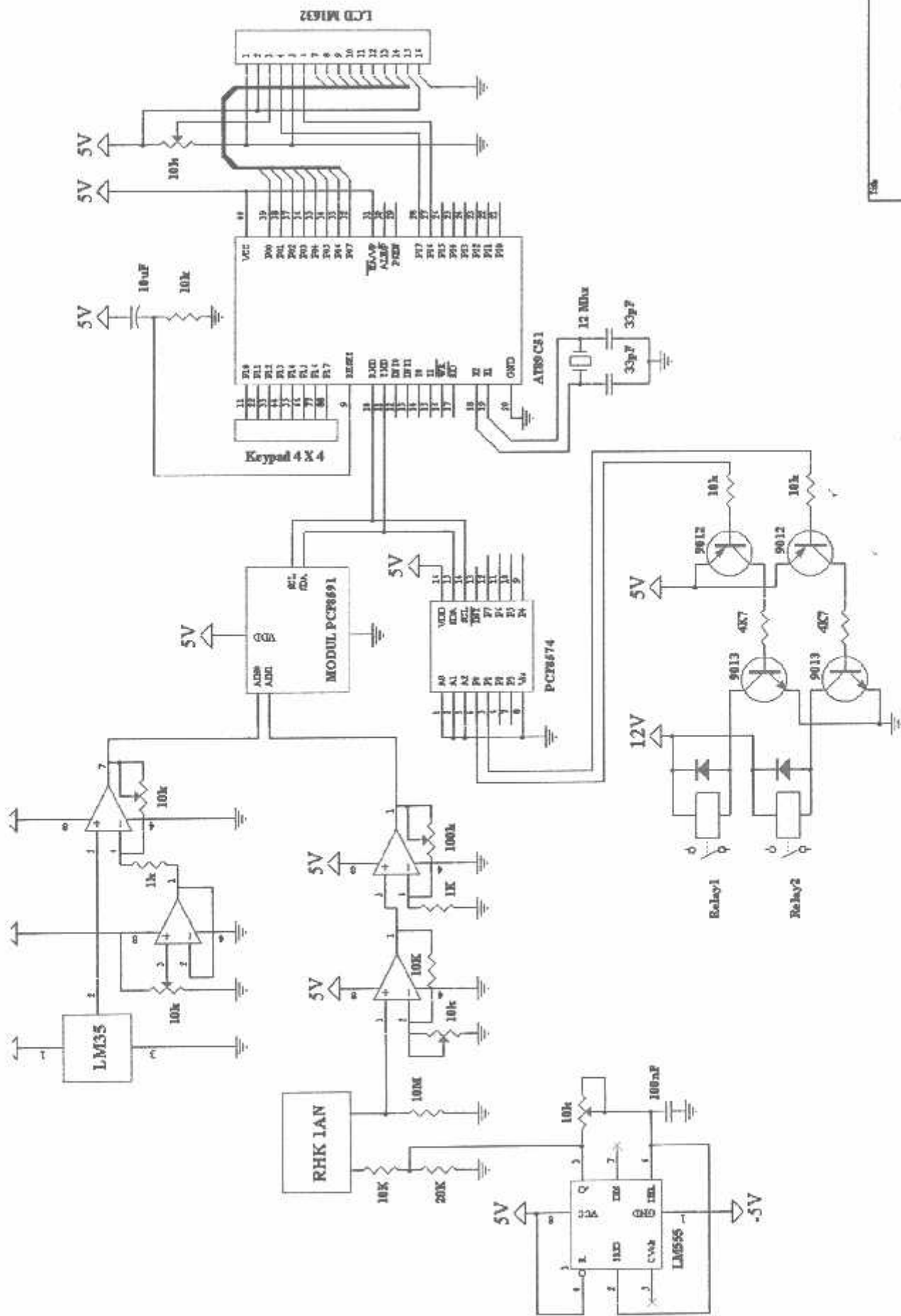
Dosen Pembimbing I

(Ir. F. Yudi Lampraptono, MT)
NIP. Y. 1039500274

40

41

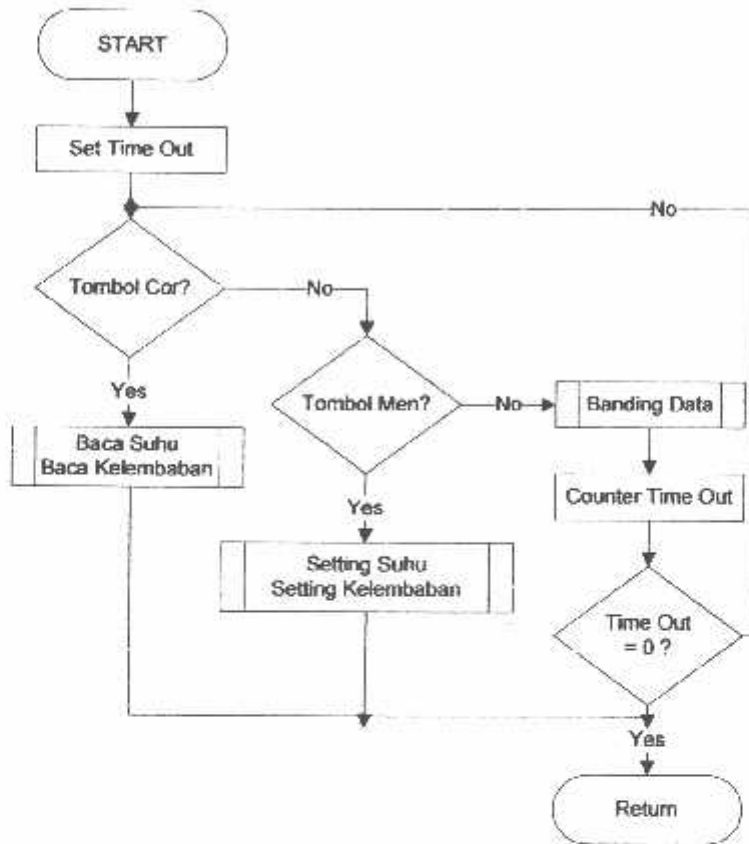
1. Blok Diagram Keseluruhan



File	Project	Rev
6/1/2017	6/1/2017	6/1/2017
6/1/2017	6/1/2017	6/1/2017

2.Flow Chart

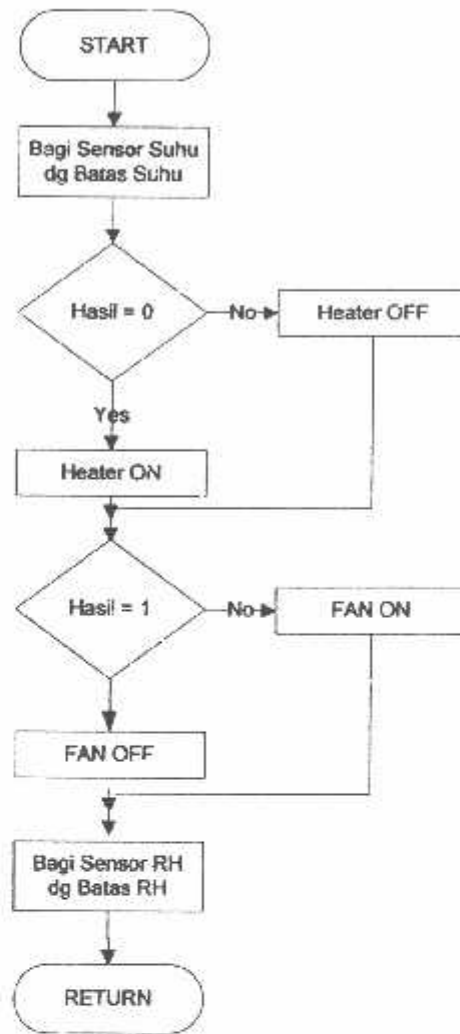
WAKTU DELAY



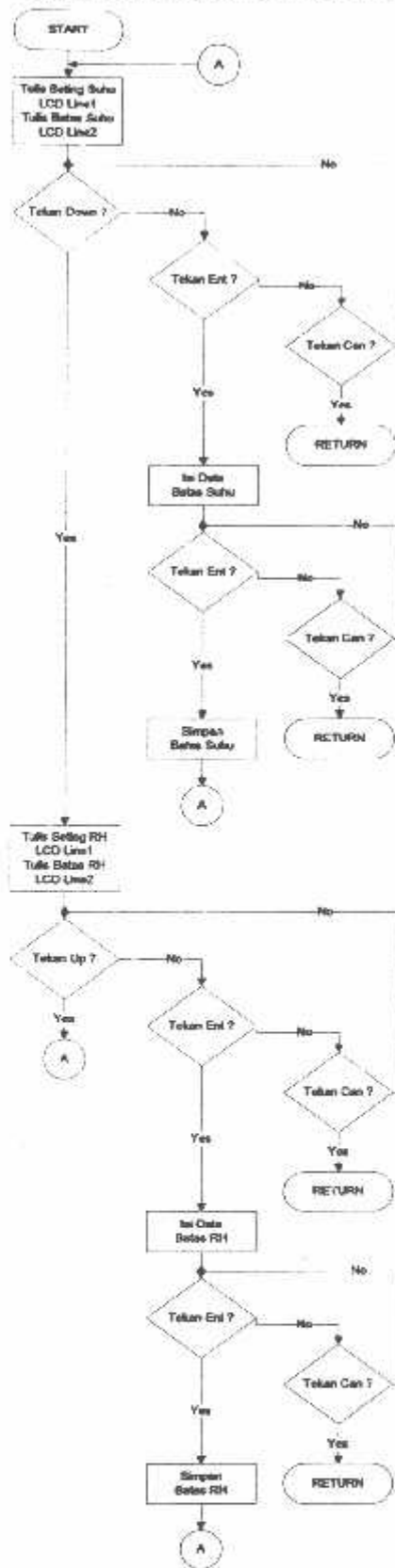
BACA SUHU dan KELEMBABAN



BONDING DATA



SETTING SUHU dan KELEMBABAN



3.Listing Program

```

; org 00h

;
Rest Bit P2.6
Enb1 Bit P2.7
ISDA Bit P3.0
ISCL Bit P3.1
Dshu Equ 30h
Suhu Equ 31h
Shu0 Equ 32h
Shu1 Equ 33h
Shu2 Equ 34h
DpRh Equ 35h
Prh0 Equ 36h
Prh1 Equ 37h
Dbts Equ 38h
Dbtk Equ 39h
Dbt0 Equ 3Ah
Dbt1 Equ 3Bh
Dbt2 Equ 3Ch
Hurfb Equ 40h
Dly0 Equ 41h
Dly1 Equ 42h
Dly2 Equ 43h

; reg batas angka puluhan-satuan
; reg batas angka dibelakang koma

;
init: acall lcd_in
mov Dbts,#46
mov Dbtk,#2
; set batas awal puluhan-satuan
; set batas awal dibelakang koma

;
mulai: mov DPTR,#nama
        acall line1
        mov Hurf,#16
        acall tulis
        acall line2
        mov Hurf,#16
        acall tulis
        acall delay1
        acall line1
        mov Hurf,#16
        acall tulis
        acall line2
        mov Hurf,#16
        acall tulis
        acall delay1
        sjmp mulai

;
tampil: mov DPTR,#tpdshu
        acall line1
        mov Hurf,#16
        acall tulis
        mov DPTR,#tpdprh
        acall line2
        mov Hurf,#16
        acall tulis
        acall tg_lps

tmp10:  mov DPTR,#angka
        acall bc_shu
        acall bc_prh
        mov P0,#088h
        acall w_ins
        mov A,Shu0
        acall wr_chr
        mov A,Shu1
        acall wr_chr
        mov P0,#'.'
        acall w_chr
        mov A,Shu2
        acall wr_chr
        mov P0,#0DFh
        acall w_chr
        mov P0,#0CDh
        acall w_ins
        mov A,Prh0
        acall wr_chr
        mov A,Prh1
        acall wr_chr
        mov P0,#025h
        acall w_chr

```

Philips Semiconductors – a worldwide company

Contact information

For additional information please visit <http://www.semiconductors.philips.com>. Fax: +31 40 27 24825
For sales offices addresses send e-mail to: sales.addresses@www.semiconductors.philips.com.

© Koninklijke Philips Electronics N.V. 2002

SCA74

All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.

The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent- or other industrial or intellectual property rights.

Printed in The Netherlands

403512/04/pp24

Date of release: 2002 Nov 22

Document order number: 9397 750 10462

Let's make things better

Philips
Semiconductors



PHILIPS

7.AT89C51

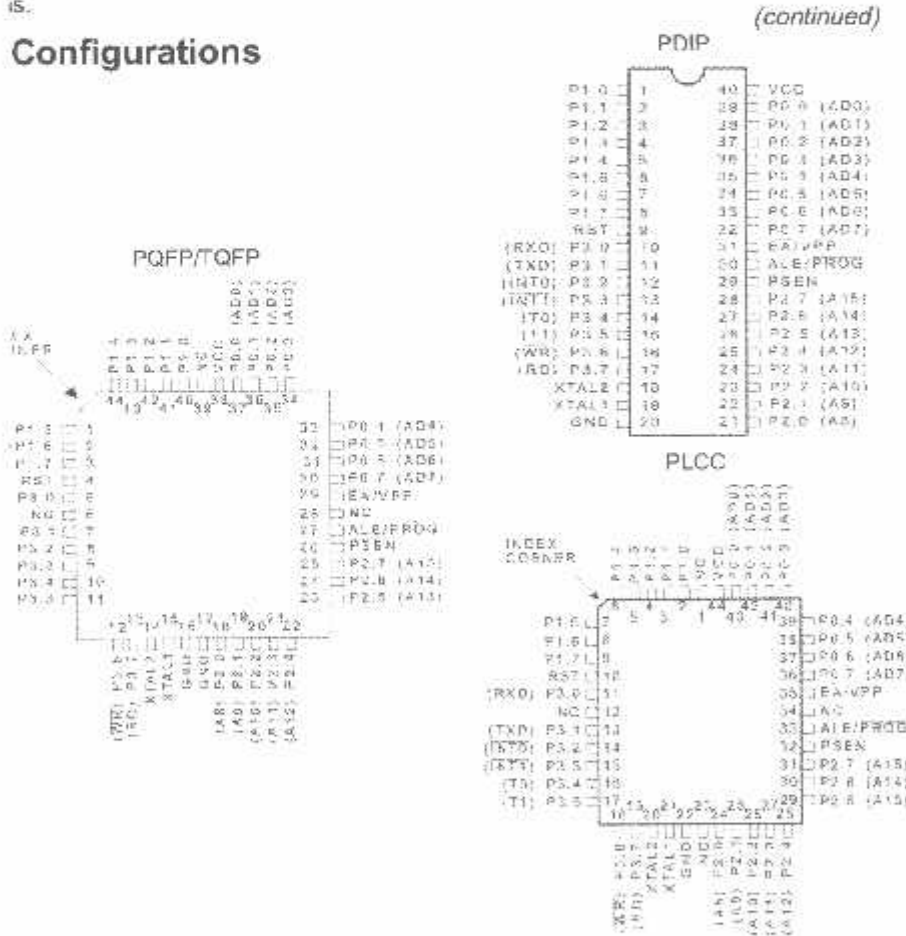
Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
- Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Typical Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- On-Chip Program Memory Lock
- 16 x 8-Bit Internal RAM
- 8 Reprogrammable I/O Lines
- 16-Bit Timer/Counters
- Interrupt Sources
- Reprogrammable Serial Channel
- Low Power Idle and Power Down Modes

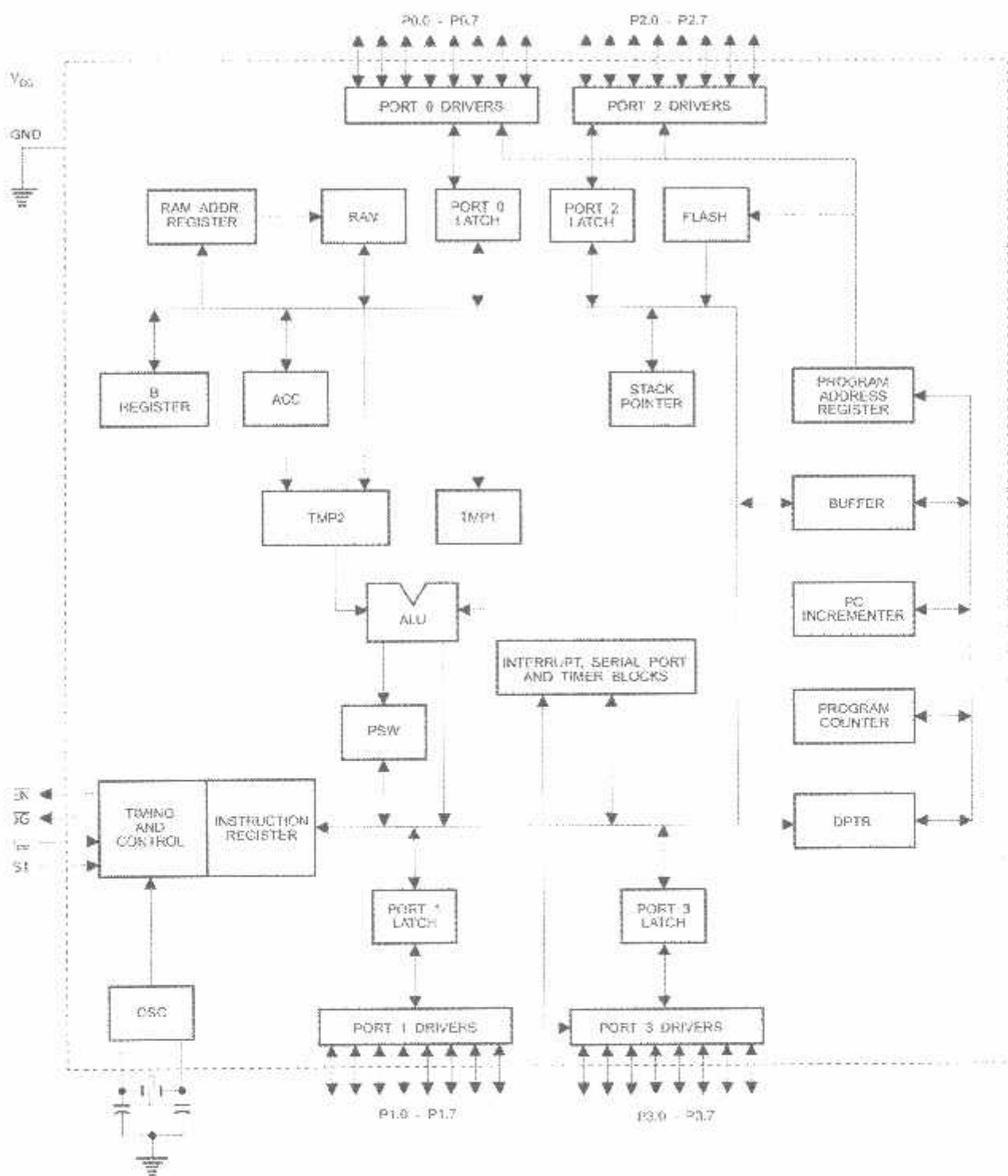
Description

The AT89C51 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 4K Bytes of Flash Programmable and Erasable Read Only Memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology which is compatible with the industry standard MCS-51™ instruction set and pinout. The in-system Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with on-chip memory on a monolithic chip, the Atmel AT89C51 is a powerful microcomputer which provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

Configurations



Diagram



AT89C51 provides the following standard features: 4K of Flash, 128 bytes of RAM, 32 I/O lines, two 16-bit counters, a five vector two-level interrupt architecture, duplex serial port, on-chip oscillator and clock circuit. In addition, the AT89C51 is designed with static logic operation down to zero frequency and supports two selectable power saving modes. The Idle Mode puts the CPU while allowing the RAM, timer/counters, port and interrupt system to continue functioning. The Power Down Mode saves the RAM contents but freezes oscillator disabling all other chip functions until the next reset.

Description

Supply voltage.

Pin 1.

Port 0 is an 8-bit open drain bidirectional I/O port. As an output port each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 may also be configured to be the multiplexed low-address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode Port 0 has internal pull-

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins they are pulled high by internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port 2 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins they are pulled high by internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches of external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application it uses strong internal pullups

when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

Port 3

Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	INT0 (external interrupt 0)
P3.3	INT1 (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	WR (external data memory write strobe)
P3.7	RD (external data memory read strobe)

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

ALE/PROG

Address Latch Enable output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input (PROG) during Flash programming.

In normal operation ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency, and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE pulse is skipped during each access to external Data Memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

PSEN

Program Store Enable is the read strobe to external program memory.



When the AT89C51 is executing code from external program memory, PSEN is activated twice each machine cycle except that two PSEN activations are skipped during access to external data memory.

Program External Access Enable. EA must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH, however, that if lock bit 1 is programmed, EA will be internally latched on reset.
EA should be strapped to V_{CC} for internal program execution.

It also receives the 12-volt programming enable voltage (V_{PP}) during Flash programming, for parts that require it V_{PP}.

1. Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.
2. Output from the inverting oscillator amplifier.

Oscillator Characteristics

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of the inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Idle Mode

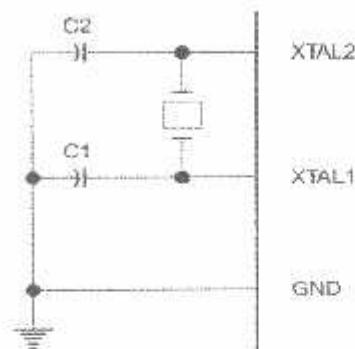
In Idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special function registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

Use of External Pins During Idle and Power Down Modes

	Program Memory	ALE	PSEN	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Power Up	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
	External	1	1	Float	Data	Address	Data
	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
	External	0	0	Float	Data	Data	Data
Power Down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power Down	External	0	0	Float	Data	Data	Data

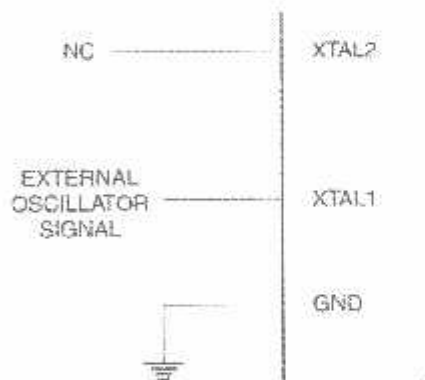
It should be noted that when Idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

Figure 1. Oscillator Connections



Note: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals
= 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

Figure 2. External Clock Drive Configuration



Power Down Mode

In power down mode the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the power down mode is terminated. The only exit from power down is a hardware reset, which redefines the SFRs but does not change the on-chip program memory. The reset should not be activated before V_{CC} is held at its normal operating level and must be held high long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

Flash Bit Protection Modes

Program Lock Bits			Protection Type
LB1	LB2	LB3	
U	U	U	No program lock features.
P	U	U	MOVX instructions executed from external program memory are disabled from fetching code bytes from internal memory. EA is sampled and latched on reset, and further programming of the Flash is disabled.
P	P	U	Same as mode 2, also verify is disabled.
P	P	P	Same as mode 3, also external execution is disabled.

Programming the Flash

The AT89C51 is normally shipped with the on-chip Flash memory array in the erased state (that is, contents = FFH) and is ready to be programmed. The programming interface uses either a high-voltage (12-volt) or a low-voltage programming mode. The low voltage programming mode provides a convenient way to program the AT89C51 inside the user's system, while the high-voltage programming mode is compatible with conventional third party Flash or EPROM programmers.

The AT89C51 is shipped with either the high-voltage or low-voltage programming mode enabled. The respective device marking and device signature codes are listed in the following table.

	V _{PP} = 12V	V _{PP} = 5V
Side Mark	AT89C51 xxxx yyww	AT89C51 xxxx-5 yyww
Signature	(030H)=1EH (031H)=51H (032H)=FFH	(030H)=1EH (031H)=51H (032H)=05H

The AT89C51 code memory array is programmed byte-by-byte in either programming mode. To program any non-erased byte in the on-chip Flash Memory, the entire memory must be erased using the Chip Erase Mode.

Program Memory Lock Bits

On the chip are three lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below:

When lock bit 1 is programmed, the logic level at the EA pin is sampled and latched during reset. If the device is powered up without a reset, the latch initializes to a random value, and holds that value until reset is activated. It is necessary that the latched value of EA be in agreement with the current logic level at that pin in order for the device to function properly.

Programming Algorithm: Before programming the AT89C51, the address, data and control signals should be set up according to the Flash programming mode table and Figures 3 and 4. To program the AT89C51, take the following steps.

1. Input the desired memory location on the address lines.
2. Input the appropriate data byte on the data lines.
3. Activate the correct combination of control signals.
4. Raise EAV_{PP} to 12V for the high-voltage programming mode.
5. Pulse ALE/ $\overline{\text{PROG}}$ once to program a byte in the Flash array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes no more than 1.5 ms. Repeat steps 1 through 5, changing the address and data for the entire array or until the end of the object file is reached.

Data Polling: The AT89C51 features Data Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written datum on P0.7. Once the write cycle has been completed, true data are valid on all outputs, and the next cycle may begin. Data Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/Busy: The progress of byte programming can also be monitored by the RDY/BSY output signal. P3.4 is pulled low after ALE goes high during programming to indicate BUSY. P3.4 is pulled high again when programming is done to indicate READY.





ram Verify: If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed, the programmed code data can be read back on the address and data lines for verification. The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

Erase: The entire Flash array is erased electrically using the proper combination of control signals and by pulling ALE/PROG low for 10 ms. The code array is written with all "1"s. The chip erase operation must be executed before the code memory can be re-programmed.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of address 030H.

and 032H, except that P3.6 and P3.7 must be pulled high. The values returned are as follows.

(030H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
(031H) = 51H indicates 89C51
(032H) = FFH indicates 12V programming
(032H) = 05H indicates 5V programming

Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written and the entire array can be erased by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

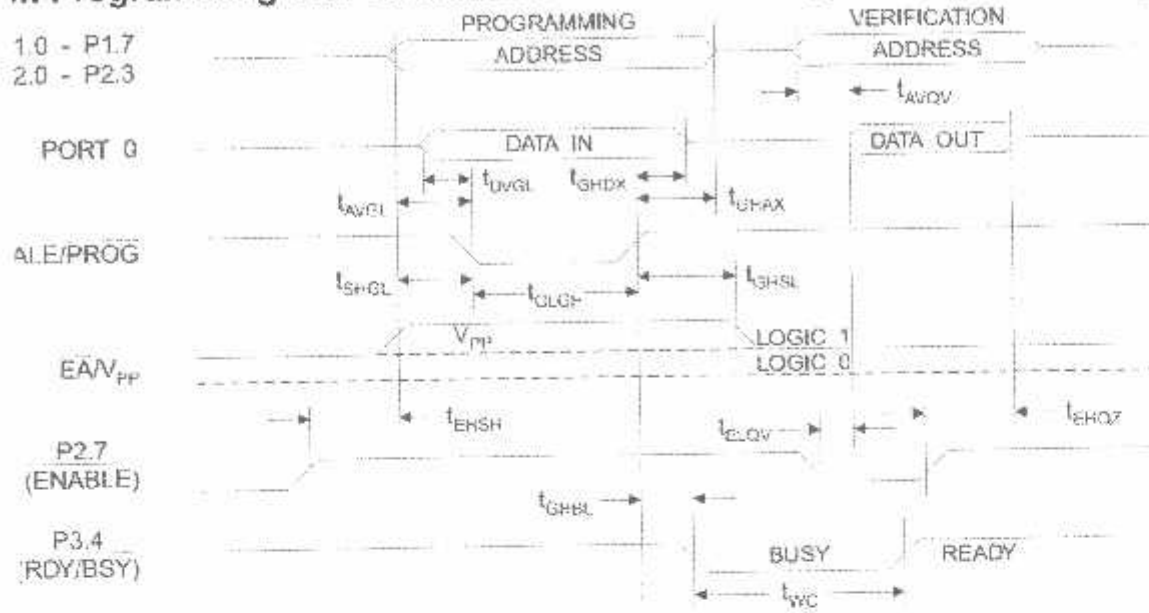
All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

Flash Programming Modes

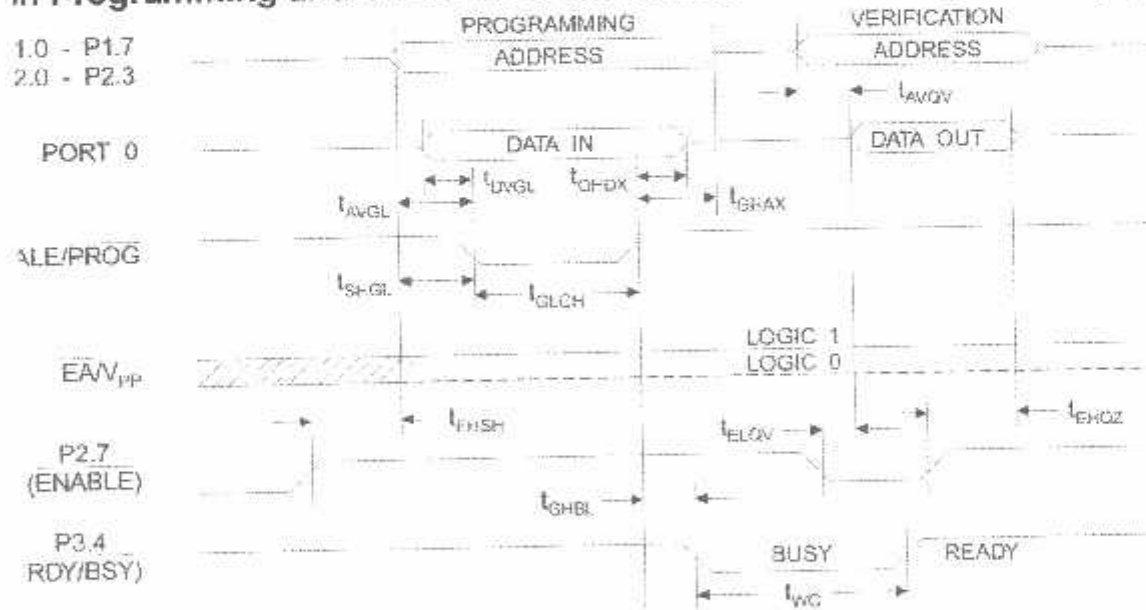
		RST	PSEN	ALE/PROG	EA/V _{PP}	P2.6	P2.7	P3.6	P3.7
Write Code Data		H	L		H/12V	L	H	H	H
		H	L	H	H	L	L	H	H
Read Lock	Bit - 1	H	L		H/12V	H	H	H	H
	Bit - 2	H	L		H/12V	H	H	L	L
	Bit - 3	H	L		H/12V	H	L	H	L
Erase		H	L	(1)	H/12V	H	L	L	L
Read Signature Byte		H	L	H	H	L	L	L	L

1. Chip Erase requires a 10-ms PROG pulse.

ih Programming and Verification Waveforms - High Voltage Mode ($V_{PP} = 12V$)



ih Programming and Verification Waveforms - Low Voltage Mode ($V_{PP} = 5V$)



Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin Respect to Ground	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage	6.6V
Output Current	15.0 mA

*NOTICE:

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Characteristics

40°C to 85°C, $V_{CC} = 5.0V$ 20% (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
	Input Low Voltage	(Except EA)	-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.1$	V
	Input Low Voltage (EA)		-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.3$	V
	Input High Voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC} + 0.9$	$V_{CC} + 0.5$	V
	Input High Voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC} + 0.5$	V
	Output Low Voltage ⁽¹⁾ (Ports 1,2,3)	$I_{OL} = 1.6 \text{ mA}$		0.45	V
	Output Low Voltage ⁽¹⁾ (Port 0, ALE, PSEN)	$I_{OL} = 3.2 \text{ mA}$		0.45	V
	Output High Voltage	$I_{OH} = -60 \text{ A}$, $V_{CC} = 5V$ 10%	2.4		V
	Output High Voltage (Ports 1,2,3, ALE, PSEN)	$I_{OH} = -25 \text{ A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -10 \text{ A}$	$0.9 V_{CC}$		V
	Output High Voltage (Port 0 in External Bus Mode)	$I_{OH} = -800 \text{ A}$, $V_{CC} = 5V$ 10%	2.4		V
		$I_{OH} = -300 \text{ A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -80 \text{ A}$	$0.9 V_{CC}$		V
	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 0.45V$		50	A
	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 2V$, $V_{CC} = 5V$ 10%		-650	A
	Input Leakage Current (Port 0, EA)	$0.45 < V_{IN} < V_{CC}$		10	A
	Reset Pulldown Resistor		50	300	K
	Pin Capacitance	Test: Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ C$		10	pF
	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		20	mA
		Idle Mode, 12 MHz		5	mA
	Power Down Mode ⁽²⁾	$V_{CC} = 6V$		100	A
		$V_{CC} = 3V$		40	A

1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:

Maximum I_{OL} per port pin: 10 mA
Maximum I_{OL} per 8-bit port: Port 0: 26 mA
Ports 1, 2, 3: 15 mA

Maximum total I_{OL} for all output pins: 71 mA

If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.

2. Minimum V_{CC} for Power Down is 2V.



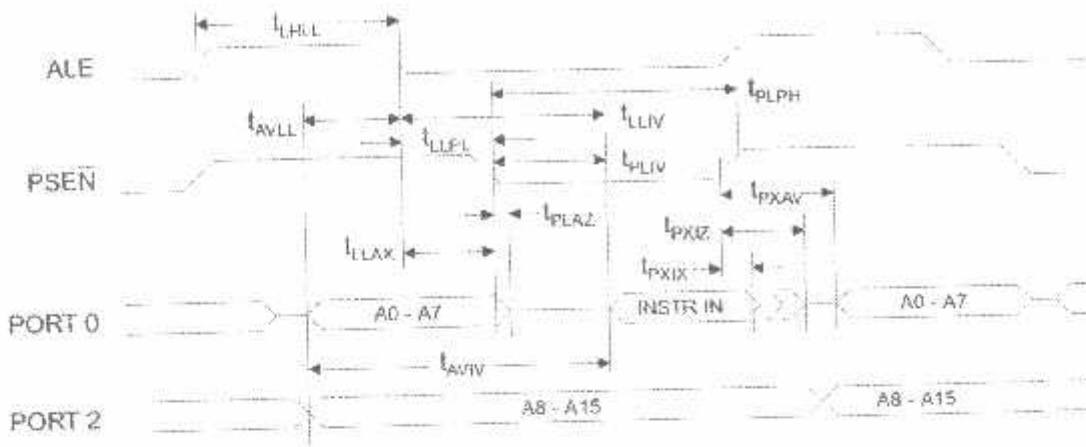
Characteristics

Operating Conditions; Load Capacitance for Port 0, ALE/PROG, and PSEN = 100 pF; Load Capacitance for all other ports = 80 pF

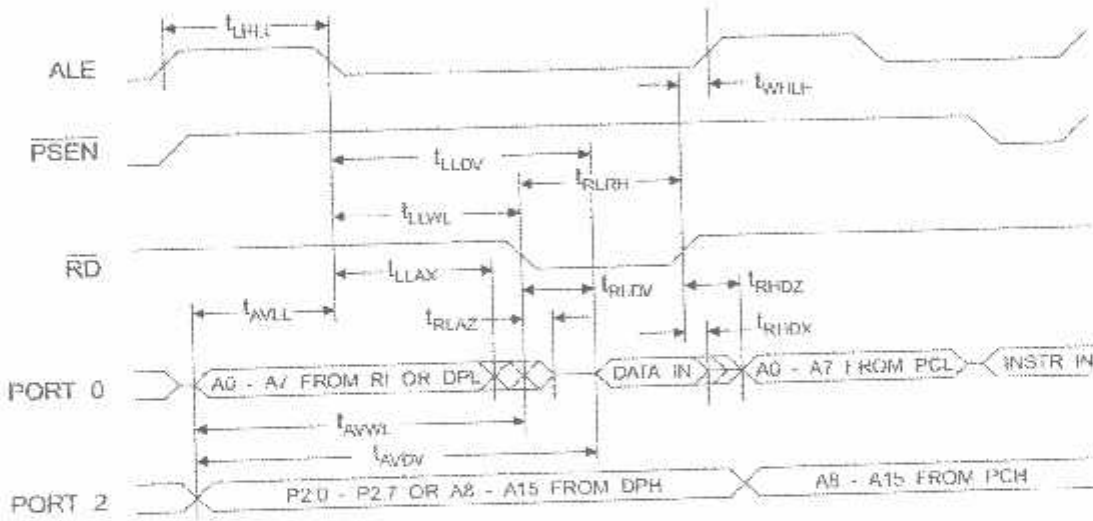
Internal Program and Data Memory Characteristics

Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		16 to 24 MHz Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
f _{osc}	Oscillator Frequency			0	24	MHz
t _{PL}	ALE Pulse Width	127		2t _{CLCL} -40		ns
	Address Valid to ALE Low	43		t _{CLCL} -13		ns
	Address Hold After ALE Low	48		t _{CLCL} -20		ns
	ALE Low to Valid Instruction In		233		4t _{CLCL} -65	ns
	ALE Low to PSEN Low	43		t _{CLCL} -13		ns
t _{PSW}	PSEN Pulse Width	205		3t _{CLCL} -20		ns
	PSEN Low to Valid Instruction In		145		3t _{CLCL} -45	ns
	Input Instruction Hold After PSEN	0		0		ns
	Input Instruction Float After PSEN		59		t _{CLCL} -10	ns
	PSEN to Address Valid	75		t _{CLCL} -8		ns
	Address to Valid Instruction In		312		5t _{CLCL} -55	ns
	PSEN Low to Address Float		10		10	ns
	RD Pulse Width	400		6t _{CLCL} -100		ns
	WR Pulse Width	400		6t _{CLCL} -100		ns
	RD Low to Valid Data In		252		5t _{CLCL} -90	ns
	Data Hold After RD	0		0		ns
	Data Float After RD		97		2t _{CLCL} -28	ns
	ALE Low to Valid Data In		517		8t _{CLCL} -150	ns
	Address to Valid Data In		585		9t _{CLCL} -165	ns
	ALE Low to RD or WR Low	200	300	3t _{CLCL} -50	3t _{CLCL} +50	ns
	Address to RD or WR Low	203		4t _{CLCL} -75		ns
	Data Valid to WR Transition	23		t _{CLCL} -20		ns
	Data Valid to WR High	433		7t _{CLCL} -120		ns
	Data Hold After WR	33		t _{CLCL} -20		ns
	RD Low to Address Float		0		0	ns
	RD or WR High to ALE High	43	123	t _{CLCL} -20	t _{CLCL} +25	ns

Internal Program Memory Read Cycle



Internal Data Memory Read Cycle

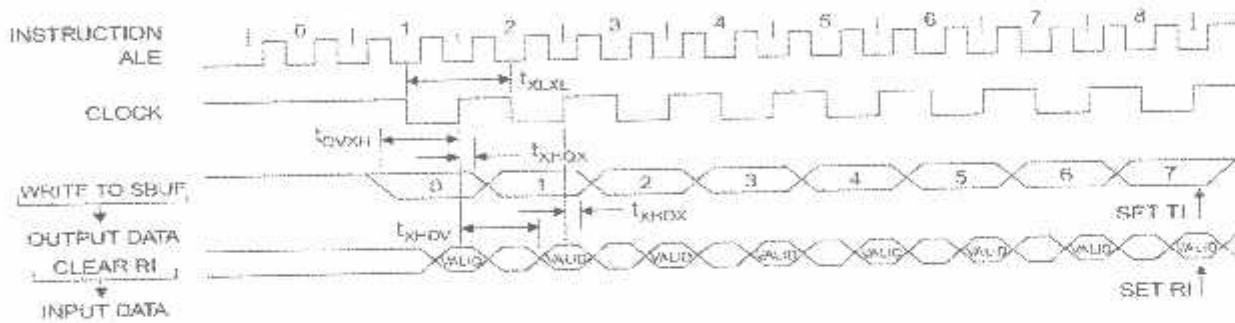


al Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

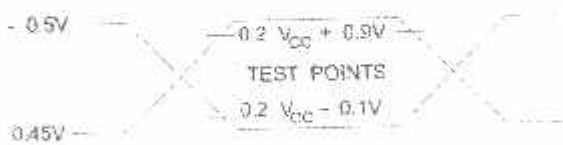
= 5.0 V \pm 20%; Load Capacitance = 80 pF)

bol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		12t _{CLCL}		1 s
	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		10t _{CLCL} -133		ns
	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		2t _{CLCL} -117		ns
	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		10t _{CLCL} -133	ns

t Register Mode Timing Waveforms



Testing Input/Output Waveforms⁽¹⁾ Float Waveforms⁽¹⁾



1. AC Inputs during testing are driven at $V_{CC} - 0.5V$ for a logic 1 and 0.45V for a logic 0. Timing measurements are made at V_{IH} min. for a logic "1" and V_{IL} max. for a logic 0.

Note:

1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when 100 mV change from the loaded V_{OH}/V_{OL} level occurs.



Ordering Information

Speed (Hz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
12	5V \pm 20%	AT89C51-12AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-12JC	44J	
		AT89C51-12PC	40P6	
		AT89C51-12QC	44Q	
		AT89C51-12AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-12JI	44J	
		AT89C51-12PI	40P6	
		AT89C51-12QI	44Q	
		AT89C51-12AA	44A	Automotive (-40°C to 105°C)
		AT89C51-12JA	44J	
		AT89C51-12PA	40P6	
		AT89C51-12QA	44Q	
16	5V \pm 20%	AT89C51-16AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-16JC	44J	
		AT89C51-16PC	40P6	
		AT89C51-16QC	44Q	
		AT89C51-16AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-16JI	44J	
		AT89C51-16PI	40P6	
		AT89C51-16QI	44Q	
		AT89C51-16AA	44A	Automotive (-40°C to 105°C)
		AT89C51-16JA	44J	
		AT89C51-16PA	40P6	
		AT89C51-16QA	44Q	
20	5V \pm 20%	AT89C51-20AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-20JC	44J	
		AT89C51-20PC	40P6	
		AT89C51-20QC	44Q	
		AT89C51-20AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-20JI	44J	
		AT89C51-20PI	40P6	
		AT89C51-20QI	44Q	

AT89C51

ering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
24	5V \pm 20%	AT89C51-24AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-24JC	44J	
		AT89C51-24PC	44P6	
		AT89C51-24QC	44Q	
		AT89C51-24AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-24JI	44J	
		AT89C51-24PI	44P6	
		AT89C51-24QI	44Q	

Package Type
44 Lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
44 Lead, Plastic J-Leaded Chip Carrier (PLCC)
40 Lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
44 Lead, Plastic Gull Wing Quad Flatpack (PQFP)



8.LM35

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$ at room temperature and $\pm 1/2^{\circ}\text{C}$ over a full -55 to $+150^{\circ}\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\text{ }\mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^{\circ}\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^{\circ}\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear $+10.0\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^{\circ}\text{C}$)
- Rated for full -55° to $+150^{\circ}\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\text{ }\mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\text{ }\Omega$ for 1 mA load

Typical Applications

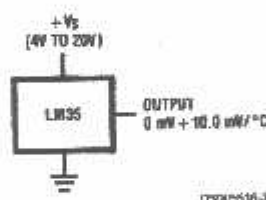
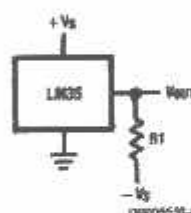


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
($+2^{\circ}\text{C}$ to $+150^{\circ}\text{C}$)

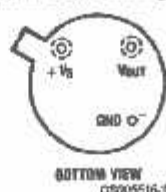


Choose $R_1 = -V_S/50\text{ }\mu\text{A}$
 $V_{OUT} = +1,500\text{ mV at } +150^{\circ}\text{C}$
 $= +250\text{ mV at } +25^{\circ}\text{C}$
 $= -550\text{ mV at } -55^{\circ}\text{C}$

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

Connection Diagrams

TO-46
Metal Can Package*



*Case is connected to negative pin (GND)

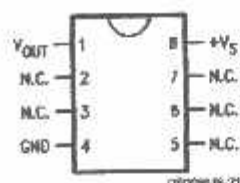
Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH
See NS Package Number H03H

TO-92
Plastic Package



Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

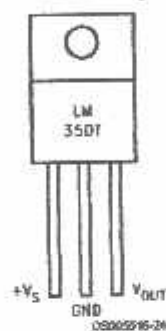
SO-8
Small Outline Molded Package



N.C. = No Connection

Top View
Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

TO-220
Plastic Package*



*Tab is connected to the negative pin (GND).

Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

Order Number LM35DT
See NS Package Number TA03F

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

Military/Aerospace specified devices are required, use contact the National Semiconductor Sales Office/ distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.:	
TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
TO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C
Lead Temp.:	
TO-46 Package,	
(Soldering, 10 seconds)	300°C

TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX}	
(Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	$^\circ\text{C}$
Linearity (8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	$^\circ\text{C}$
Transfer Gain (Output Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/ $^\circ\text{C}$
Regulation	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		mV/mA
(3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.5		± 3.0	± 0.5		± 3.0	mV/mA
Regulation	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
(3)	$4 \text{ V} \leq V_S \leq 30 \text{ V}$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Quiescent Current (9)	$V_S = +5 \text{ V}, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_S = +5 \text{ V}$	105		131	91		114	μA
	$V_S = +30 \text{ V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_S = +30 \text{ V}$	105.5		133	91.5		116	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current (3)	$4 \text{ V} \leq V_S \leq 30 \text{ V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
	$4 \text{ V} \leq V_S \leq 30 \text{ V}$	0.5		2.0	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Quiescent Temperature Load Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Term Stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = -10^{\circ}\text{C}$	± 0.5			± 0.5		± 1.5	$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	± 0.8	± 1.5		± 0.8		± 1.5	$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.8		± 1.5	± 0.8		± 2.0	$^{\circ}\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$				± 0.6	± 1.5		$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				± 0.9		± 2.0	$^{\circ}\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				± 0.9		± 2.0	$^{\circ}\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.3		± 0.5	± 0.2		± 0.5	$^{\circ}\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$+10.0$	$+9.8, +10.2$		$+10.0$		$+9.8, +10.2$	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$	± 0.4	± 2.0		± 0.4	± 2.0		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.5		± 5.0	± 0.5		± 5.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^{\circ}\text{C}$	± 0.01	± 0.1		± 0.01	± 0.1		mV/V
	$4 \text{ V} \leq V_S \leq 30 \text{ V}$	± 0.02		± 0.2	± 0.02		± 0.2	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5 \text{ V}, +25^{\circ}\text{C}$	56	80		56	80		μA
	$V_S = +5 \text{ V}$	105		158	91		138	μA
	$V_S = +30 \text{ V}, +25^{\circ}\text{C}$	56.2	82		56.2	82		μA
	$V_S = +30 \text{ V}$	105.5		161	91.5		141	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4 \text{ V} \leq V_S \leq 30 \text{ V}, +25^{\circ}\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		μA
	$4 \text{ V} \leq V_S \leq 30 \text{ V}$	0.5		3.0	0.5		3.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		$+0.39$		$+0.7$	$+0.39$		$+0.7$	$\mu\text{A}/^{\circ}\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^{\circ}\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^{\circ}\text{C}$

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +150^{\circ}\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +110^{\circ}\text{C}$ for the LM35C and LM35D; and $0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +100^{\circ}\text{C}$ for the LM35D. $V_S = +5 \text{ Vdc}$ and $I_{\text{LOAD}} = 50 \mu\text{A}$, in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from $+2^{\circ}\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of Figure 1. Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is 40°C/W , junction to ambient, and 24°C/W junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is 160°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is 220°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is 90°C/W junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in $^{\circ}\text{C}$).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of Figure 1.

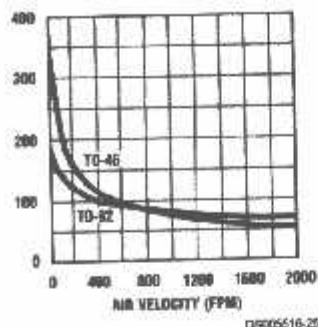
Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a $1.5 \text{ k}\Omega$ resistor.

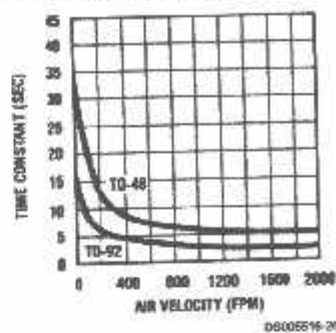
Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

Typical Performance Characteristics

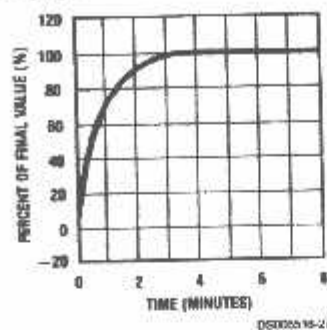
Thermal Resistance
to Air



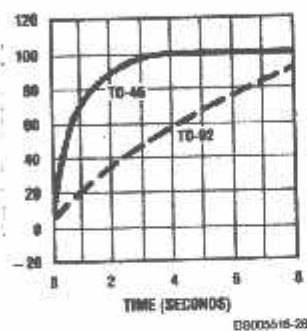
Thermal Time Constant



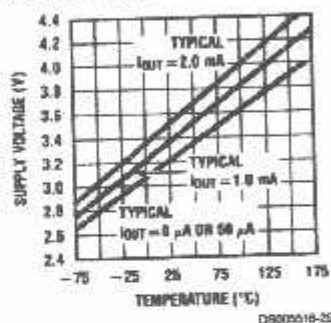
Thermal Response
in Still Air



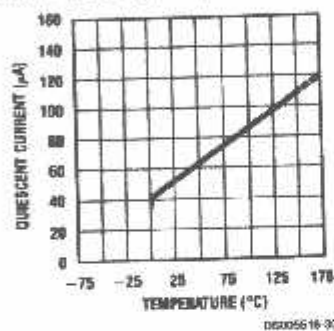
Thermal Response in
Oil Bath



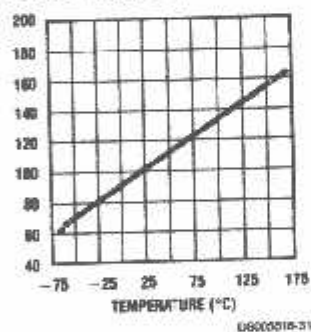
Minimum Supply
Voltage vs. Temperature



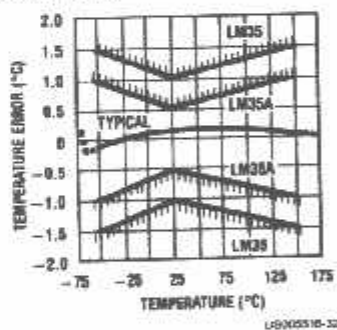
Quiescent Current
vs. Temperature
(In Circuit of Figure 1.)



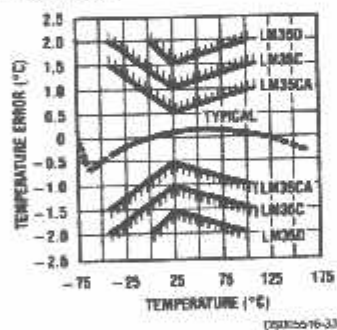
Quiescent Current
Temperature
(Circuit of Figure 2.)



Accuracy vs. Temperature
(Guaranteed)

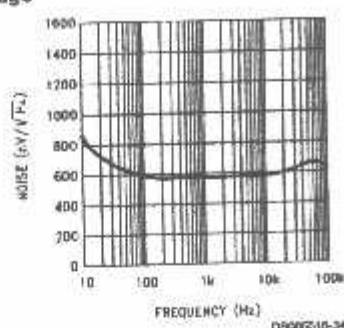


Accuracy vs. Temperature
(Guaranteed)

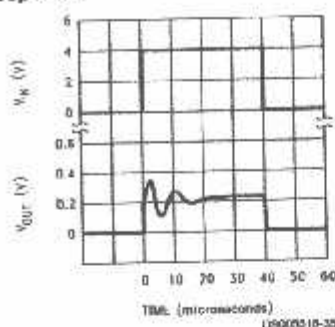


Typical Performance Characteristics (Continued)

Noise Voltage



Start-Up Response



Applications

The LM35 can be applied easily in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. It can be glued or cemented to a surface and its temperature will be within about 0.01°C of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature; if the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature. This is especially true for the TO-92 plastic package, where the copper leads are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

To minimize this problem, be sure that the wiring to the LM35, as it leaves the device, is held at the same temperature as the surface of interest. The easiest way to do this is to cover up these wires with a bead of epoxy which will insure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the LM35 die's temperature will not be affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V- terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, the LM35 can be mounted inside a sealed-end metal tube, and can then be dipped into a bath or screwed into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as Humiseal and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small light-weight heat fin, to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance, θ_{JA})

	TO-46, no heat sink	TO-46*, small heat fin	TO-92, no heat sink	TO-92**, small heat fin	SO-8 no heat sink	SO-8**, small heat fin	TO-220 no heat sink
Still air	400°C/W	100°C/W	180°C/W	140°C/W	220°C/W	110°C/W	90°C/W
Moving air	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	105°C/W	90°C/W	26°C/W
Still oil	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W			
Stirred oil	50°C/W	30°C/W	45°C/W	40°C/W			
(Clamped to metal, infinite heat sink)		(24°C/W)			(55°C/W)		

*Wakefield type 201, or 1" disc of 0.020" sheet brass, soldered to case, or similar.

**TO-92 and SO-8 packages glued and leads soldered to 1" square of 1/16" printed circuit board with 2 oz. foil or similar.

Typical Applications

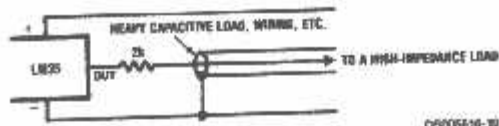


FIGURE 3. LM35 with Decoupling from Capacitive Load

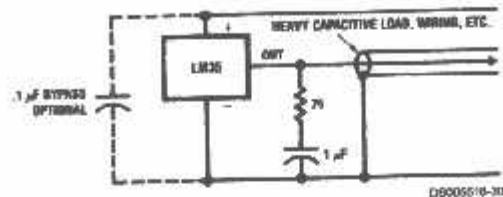


FIGURE 4. LM35 with R-C Damper

HEAVY CAPACITIVE LOADS

In most micropower circuits, the LM35 has a limited ability to drive heavy capacitive loads. The LM35 by itself is able to drive > 50 pF without special precautions. If heavier loads are required, it is easy to isolate or decouple the load with a resistor; see Figure 3. Or you can improve the tolerance of the output with a series R-C damper from output to ground; see Figure 4.

When the LM35 is applied with a 200Ω load resistor as shown in Figure 5, Figure 6 or Figure 8 it is relatively immune to wiring capacitance because the capacitance forms a by-pass from ground to input, not on the output. However, as with any linear circuit connected to wires in a hostile environment, its performance can be affected adversely by inductive electromagnetic sources such as relays, radio transmitters, motors with arcing brushes, SCR transients, etc., as wiring can act as a receiving antenna and its internal inductances can act as rectifiers. For best results in such cases, bypass capacitor from V_{IN} to ground and a series R-C damper such as 75Ω in series with 0.2 or $1\mu\text{F}$ from output to ground are often useful. These are shown in Figure 13, Figure 14, and Figure 16.

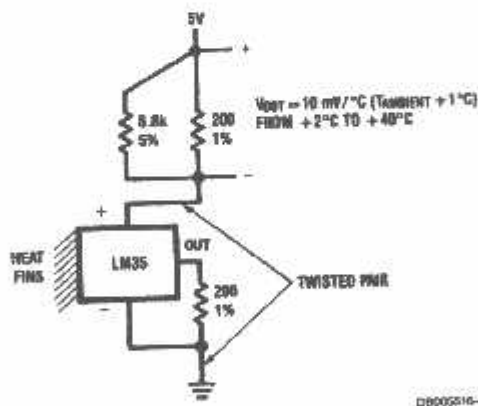


FIGURE 5. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Grounded Sensor)

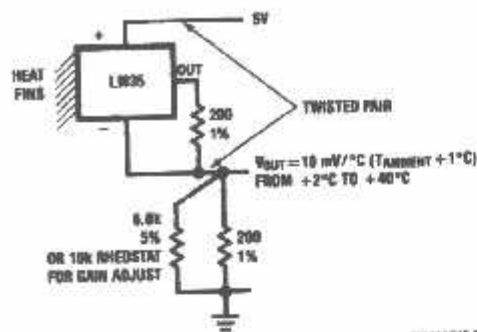


FIGURE 6. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)

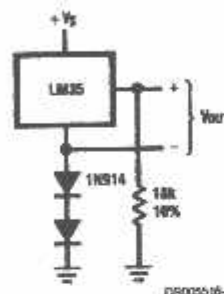


FIGURE 7. Temperature Sensor, Single Supply, -55°C to +150°C

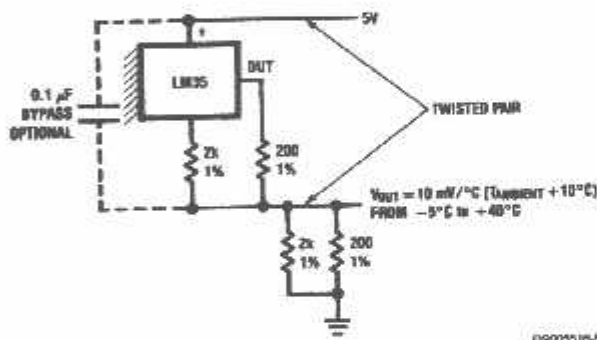


FIGURE 8. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)

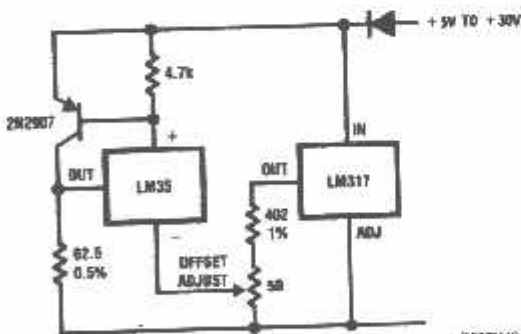


FIGURE 9. 4-To-20 mA Current Source (0°C to +100°C)

Typical Applications (Continued)

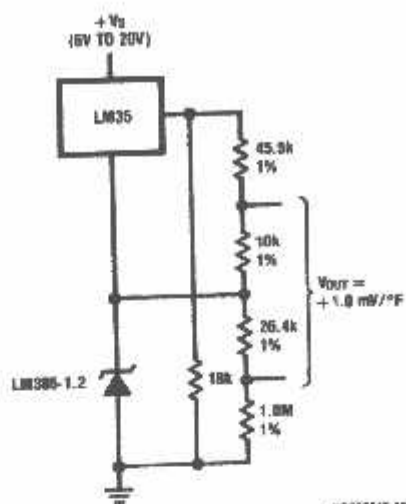


FIGURE 10. Fahrenheit Thermometer

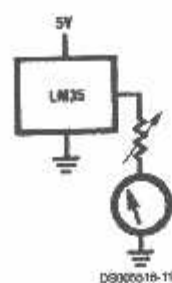


FIGURE 11. Centigrade Thermometer (Analog Meter)

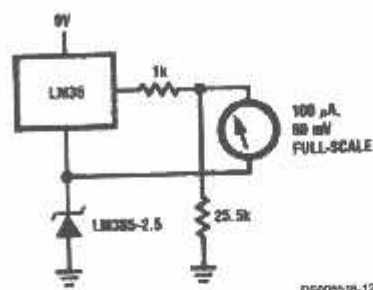


FIGURE 12. Fahrenheit Thermometer Expanded Scale
Thermometer
(50° to 80° Fahrenheit, for Example Shown)

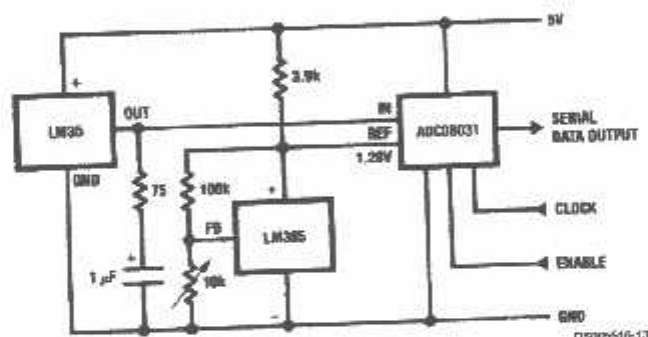


FIGURE 13. Temperature To Digital Converter (Serial Output) (+128°C Full Scale)

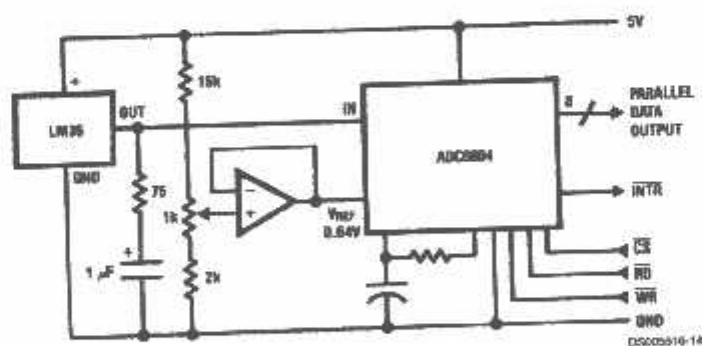
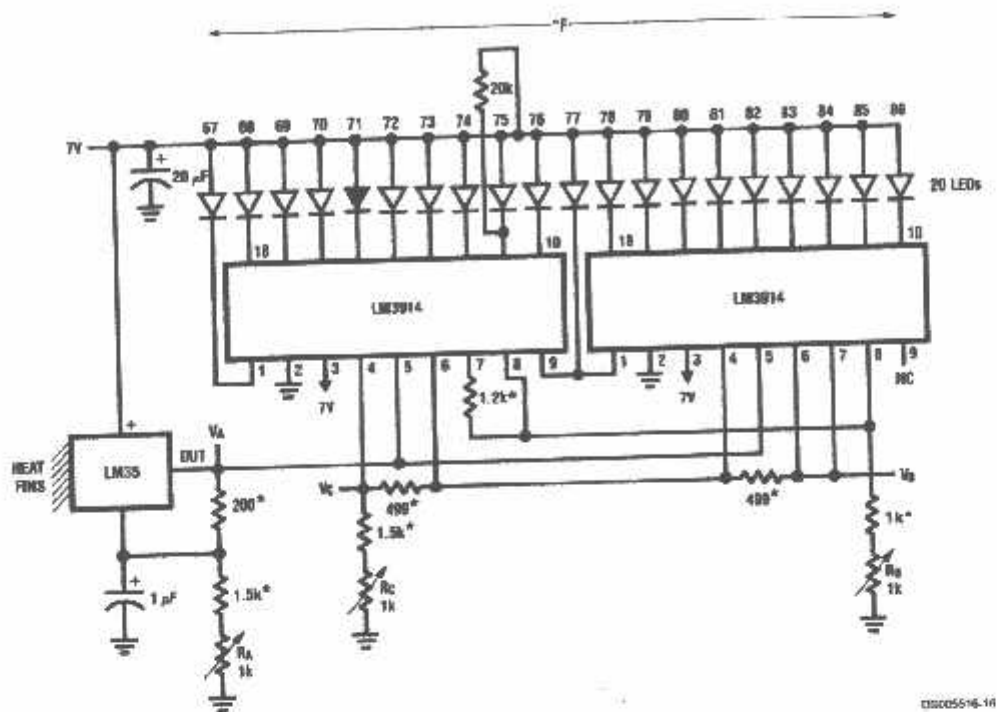


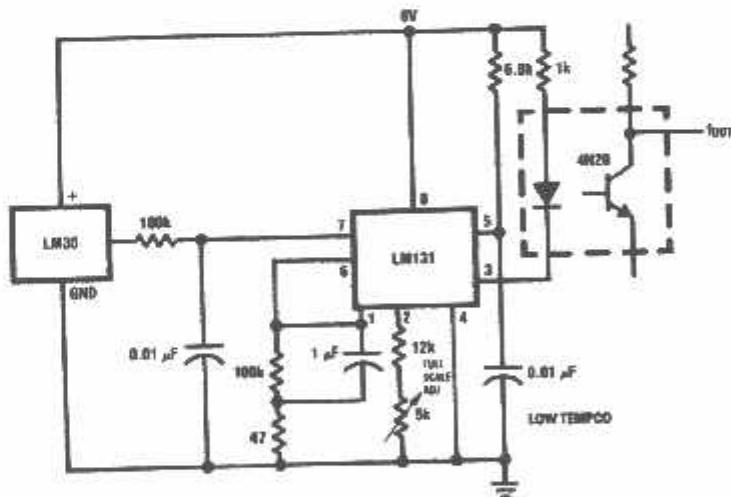
FIGURE 14. Temperature To Digital Converter (Parallel TRI-STATE™ Outputs for Standard Data Bus to μ P Interface) (128°C Full Scale)



DS00055-14-14

R_B or 2% film resistor
 R_B for $V_B=3.075V$
 R_C for $V_C=1.965V$
 R_A for $V_A=0.075V + 100mV/^\circ C \times T_{ambient}$
typical, $V_A=2.275V$ at $22^\circ C$

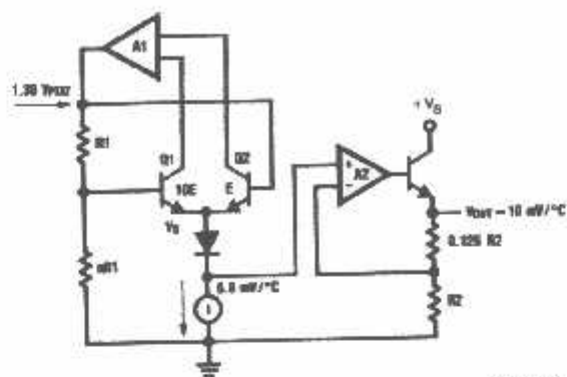
FIGURE 15. Bar-Graph Temperature Display (Dot Mode)



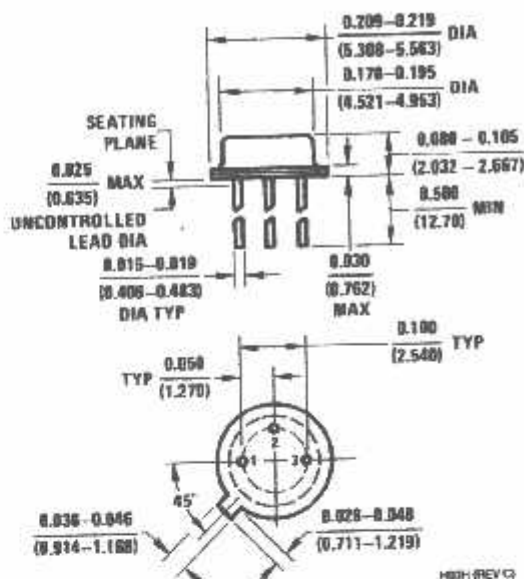
DS00055-15-15

FIGURE 16. LM35 With Voltage-To-Frequency Converter And Isolated Output
($2^\circ C$ to $+150^\circ C$; 20 Hz to 1500 Hz)

Block Diagram

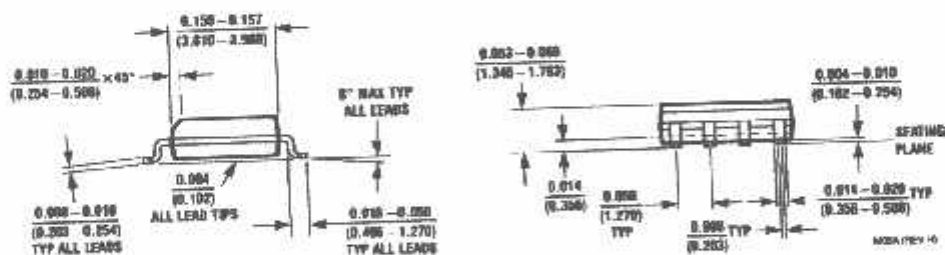
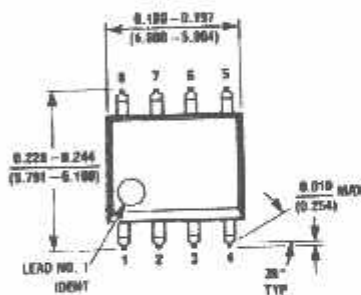


Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



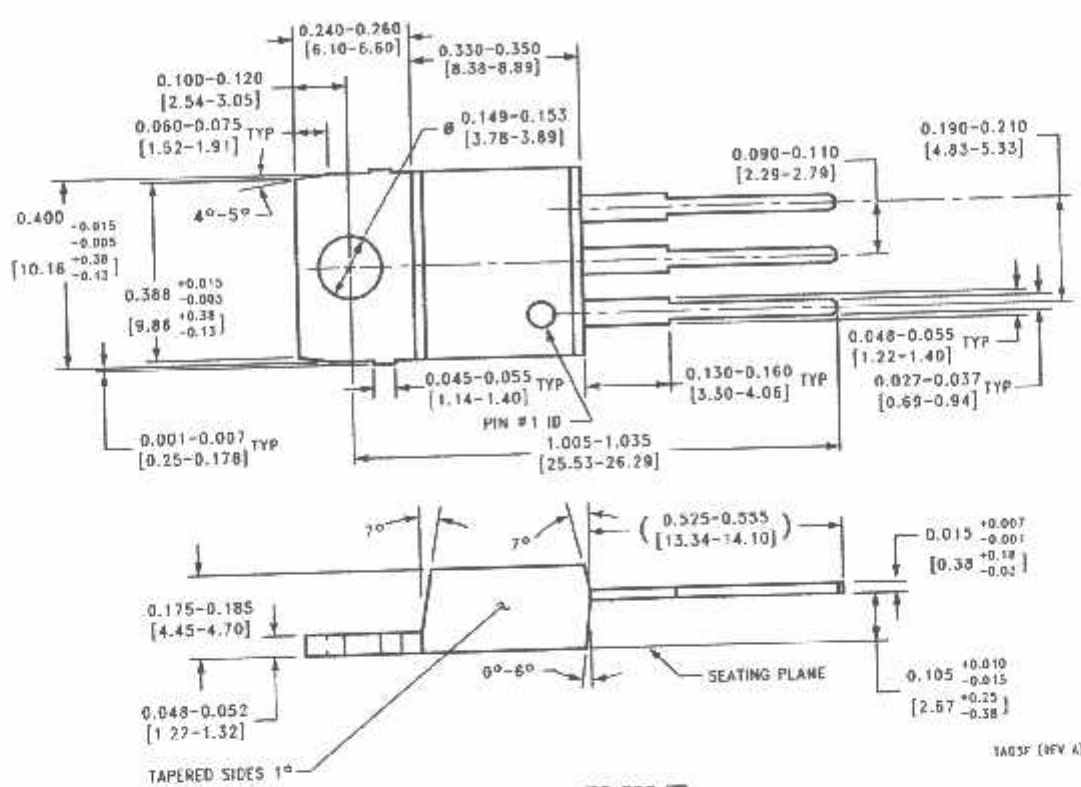
H03H-REV C

TO-46 Metal Can Package (H)
 Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH,
 LM35CAH, or LM35DH
 NS Package Number H03H



SO-8 Molded Small Outline Package (M)
 Order Number LM35DM
 NS Package Number M08A

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)

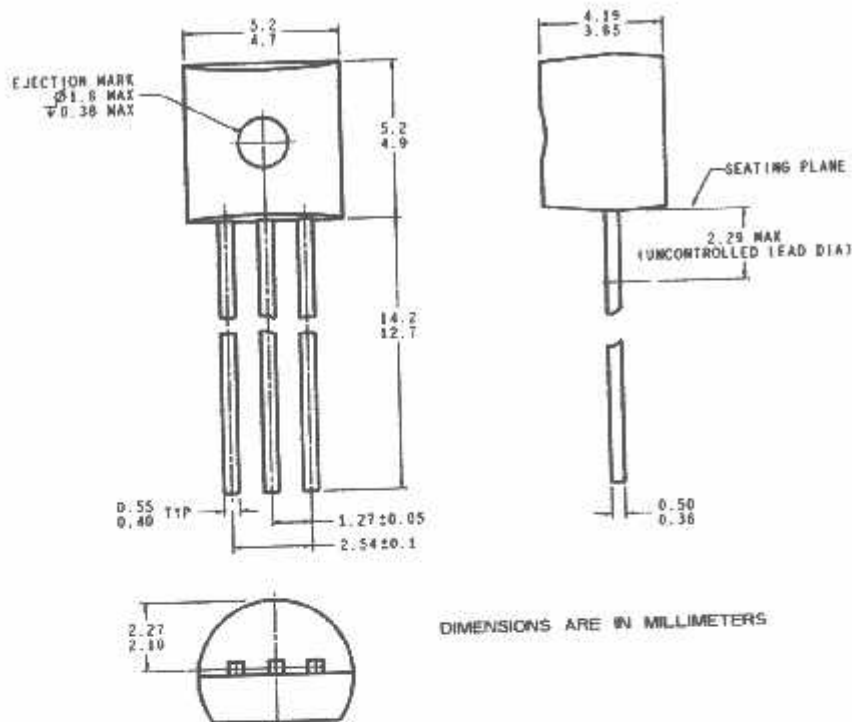


Power Package TO-220 (T)
Order Number LM35DT
NS Package Number TA03F

TA03F (REV. A)

Physical Dimensions

Inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



TO-92 Plastic Package (Z)
Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
NS Package Number Z03A

SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL MANAGER OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.

2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

National Semiconductor Corporation
Americas
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com
national.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9608 8208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

we do not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change sales circuitry and specifications.

9.RHK1AN (AN27)

**AN27 - Weather Station I
(Temperature & Humidity)**

oleh: Tim IE & Arif Bambang S. & Arief Rachmadani
(Institut Teknologi Sepuluh Nopember)

temperatur dan kelembaban merupakan aspek yang penting dalam menentukan kondisi cuaca pada suatu daerah. Banyak hal yang sangat bergantung pada kondisi temperatur dan kelembaban pada daerah tersebut. Kehidupan pun sangat bergantung pada kondisi temperatur dan kelembaban daerah yang ditempatinya. Modul ini berfungsi untuk mendeteksi temperatur dan kelembaban pada suatu tempat. Modul yang digunakan adalah:

DT-51 MinSys ver. 3.0
DT-51 I²C ADDA
Modul LCD
LM35DZ
RHK1AN

TEMPERATUR DAN KELEMBABAN

Dalam melakukan pengukuran kelembaban pada suatu daerah maka kita harus memasukkan parameter sebagai faktor yang sangat berpengaruh terhadap kelembaban tersebut.

Kelembaban Relatif/Relative Humidity (RH) adalah suatu perbandingan yang dinyatakan dalam sentase, banyaknya uap air di dalam atmosfer terhadap jumlah yang dibutuhkan untuk memenuhinya pada suhu yang sama. Kelembaban relatif berubah-ubah menyesuaikan suhu.

RH 50% "± 5%", simbol "± 5%" menjelaskan adanya batas toleransi 5%, yaitu lebih 2,5% atau kurang 2,5% dari standar 50%, yang berarti tidak boleh kurang dari 47,5% dan lebih dari 52,5%.

Suhu 20 °C "± 2 °C", simbol "± 2 °C" menjelaskan adanya batas toleransi 2 °C, yaitu lebih satu atau kurang satu dari standar 20 °C, yang berarti tidak boleh kurang dari 19 °C dan lebih dari 21 °C.

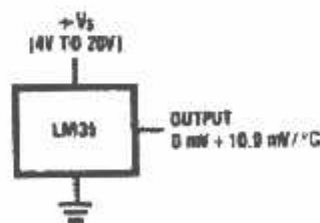
SENSOR SUHU LM35

LM35DZ adalah IC yang khusus digunakan untuk sensor temperatur/suhu yang hasilnya cukup linier. LM35DZ tidak memerlukan kalibrasi eksternal ataupun *timing* khusus, dengan *range* pengukuran antara 0 s/d 100 °C. Sensor ini mempunyai karakteristik yang linear yaitu pada 10 mV/°C. Gambar IC LM35DZ dengan kemasan plastik terdapat pada gambar 1.

TO-92
Plastic Package



Gambar 1. Sensor Temperatur LM35



Gambar 2. Typical Application LM35

SENSOR KELEMBABAN RHK1AN

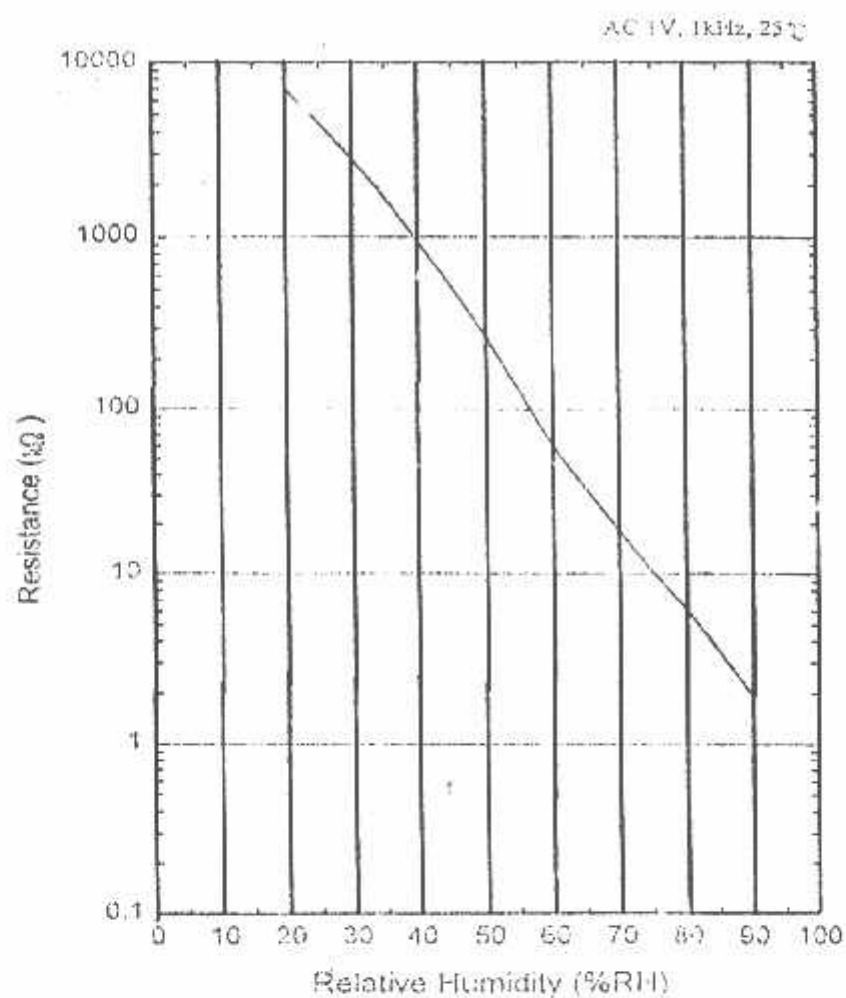
Kelembaban adalah salah satu faktor yang menentukan kondisi cuaca pada suatu daerah. Kelembaban dapat diukur dengan berbagai macam metode, salah satunya adalah dengan menggunakan sensor kelembaban RHK1AN.

Spesifikasi dari sensor kelembaban RHK1AN terdapat pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi RHK1AN

1	Part Name	Humidity Sensor
2	Type	RHK1AN
3	Storage temperature range	-40 ~ 85 °C
4	Storage humidity range	Less than 95%RH
5	Operating temperature range	0 – 60°C
6	Operating humidity range	20 ~ 90%RH
7	Rated voltage	AC 1V (50Hz ~ 1KHz)
8	Rated power	0.3 mW
9	Standard characteristic	60 kΩ (at 25°C, 60%RH)
10	Accuracy	<± 3%RH
11	Hysteresis	Within 3%RH

Grafik respon sensor kelembaban RHK1AN pada tegangan AC 1V dan temperatur 25 °C terdapat pada gambar 3.



Gambar 3. Typical Characteristics RHK1AN

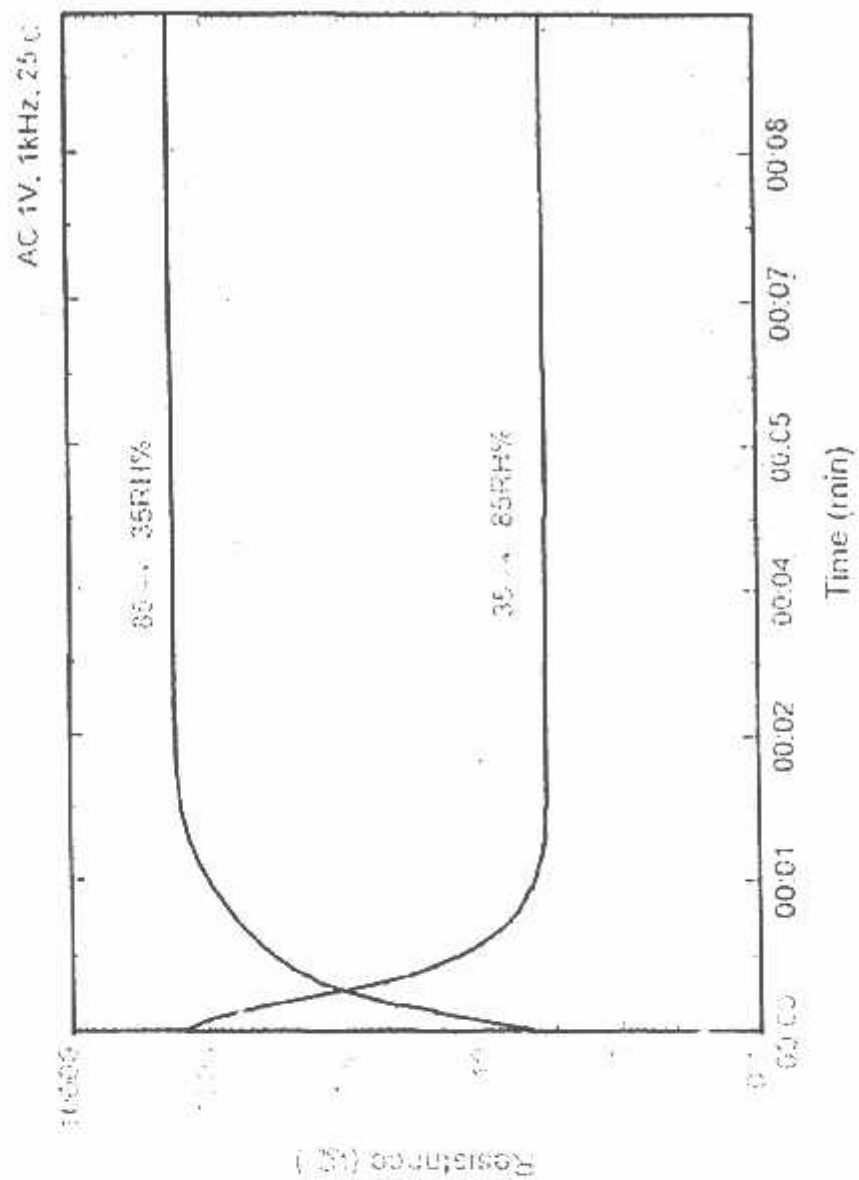
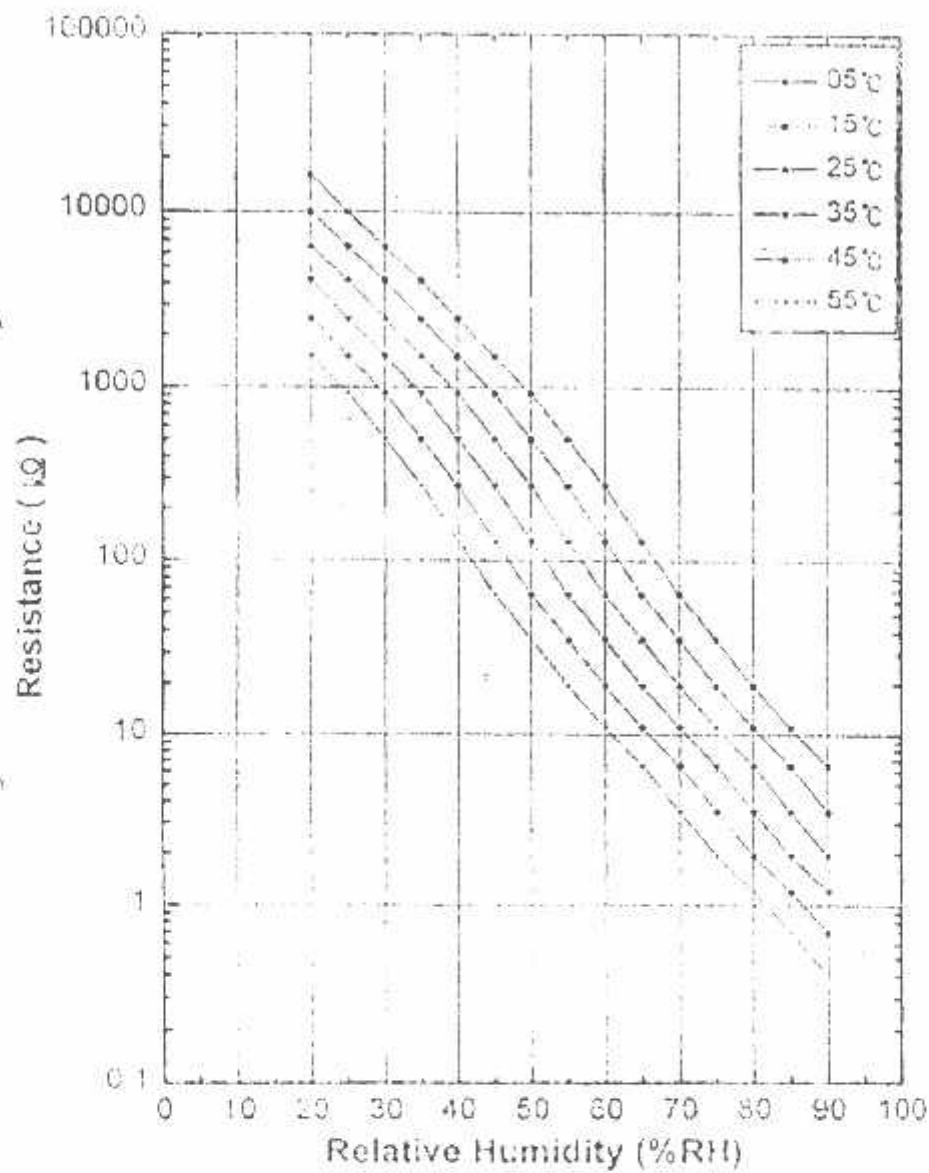


Fig. 2 Typical humidity response characteristic

Gambar 4. Typical Humidity Response Characteristics

Temperature Characteristic



Gambar 5. Temperature Characteristics

Tabel pengukuran resistansi untuk kelembaban antara 20 %RH sampai dengan 90 %RH pada temperatur 5°C terdapat pada tabel 2.

el 2. Resistansi RHK1AN pada 25 °C

No.	%RH	Resistansi (kΩ)
1	20	8500
2	21	6000
3	22	5500
4	23	5000
5	24	4600
6	25	4200
7	26	3800
8	27	3500
9	28	3100
10	29	2800
11	30	2500
12	31	2200
13	32	2000
14	33	1800
15	34	1650
16	35	1500
17	36	1390
18	37	1270
19	38	1140
20	39	1050
21	40	930
22	41	820
23	42	740
24	43	650
25	44	580
26	45	510
27	46	450
28	47	400
29	48	350
30	49	310
31	50	275
32	51	230
33	52	200
34	53	175
35	54	150
36	55	130
37	56	115
38	57	100
39	58	85
40	59	74
41	60	65
42	61	57
43	62	51
44	63	45
45	64	40
46	65	36
47	66	32
48	67	28
49	68	25
50	69	22
51	70	19.5
52	71	17.7
53	72	15.8
54	73	14
55	74	12.4
56	75	11
57	76	10
58	77	9

59	78	8.1
60	79	7.2
61	80	6.5
62	81	5.8
63	82	5.1
64	83	4.5
65	84	3.9
66	85	3.5
67	86	3.05
68	87	2.7
69	88	2.4
70	89	2.15
71	90	1.95

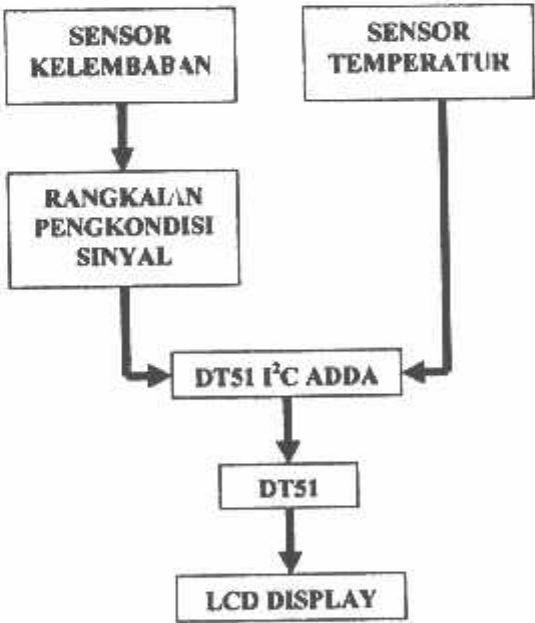
Tabel pengukuran resistansi untuk kelembaban antara 20 %RH sampai dengan 90 %RH pada beberapa diasi temperatur yang berbeda terdapat pada tabel 3.

Tabel 3. Resistansi RHK1AN pada Suhu Berbeda (R dalam kΩ)

%RH	R 5°C	R 15°C	R 25°C	R 35°C	R 45°C	R 55°C
20	16000	10000	6500	4200	2500	1500
25	10000	6500	4200	2500	1500	930
30	6500	4200	2500	1500	930	510
35	4200	2500	1500	930	510	275
40	2500	1500	930	510	275	130
45	1500	930	510	275	130	65
50	930	510	275	130	65	36
55	510	275	130	65	36	19.5
60	275	130	65	36	19.5	11
65	130	65	36	19.5	11	6.5
70	65	36	19.5	11	6.5	3.5
75	36	19.5	11	6.5	3.5	1.95
80	19.5	11	6.5	3.5	1.95	1.2
85	11	6.5	3.5	1.95	1.2	0.7
90	6.5	3.5	1.95	1.2	0.7	0.4

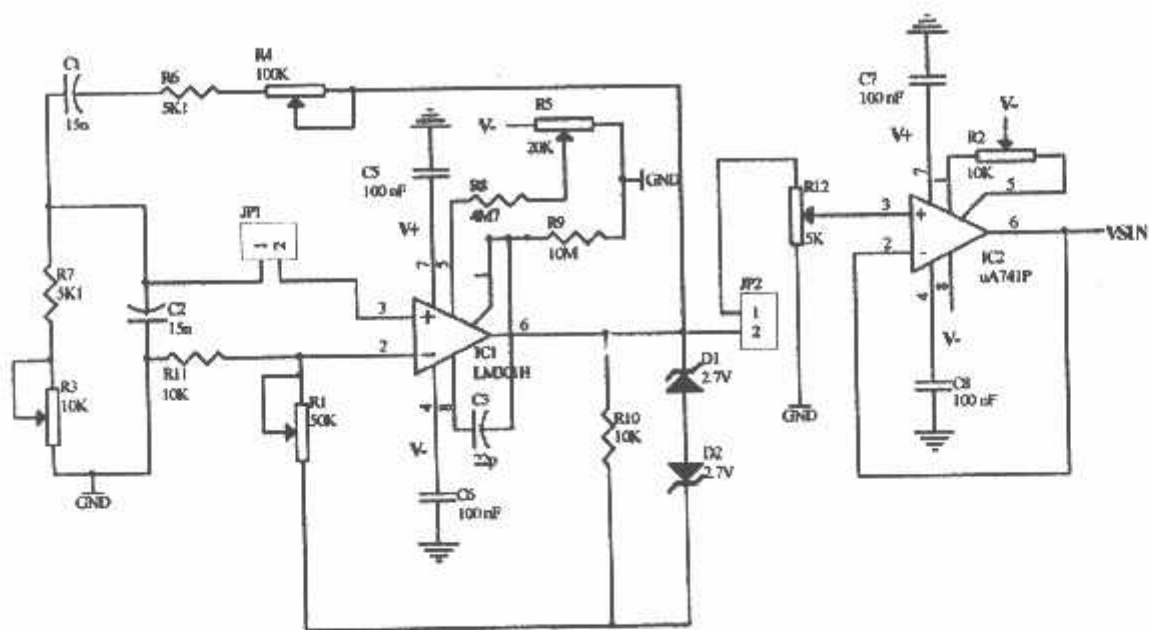
ERANCANGAN HARDWARE

Blok diagram dari sistem yang akan dibuat terdapat pada gambar 6.

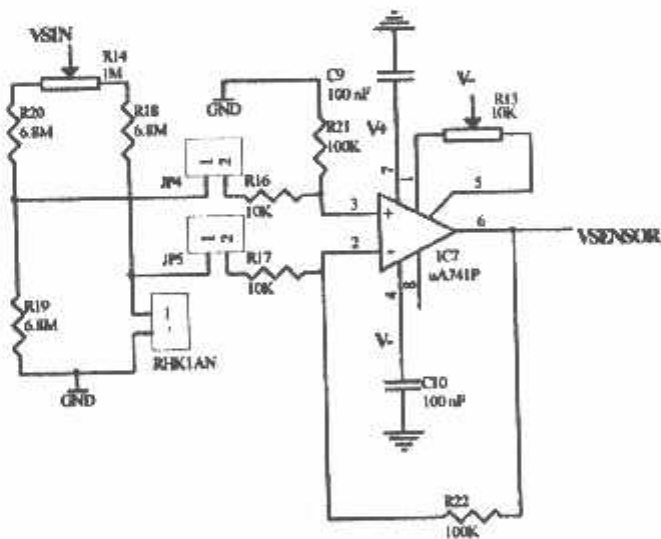


Gambar 6. Blok Diagram Alat Ukur Temperatur dan Kelembaban

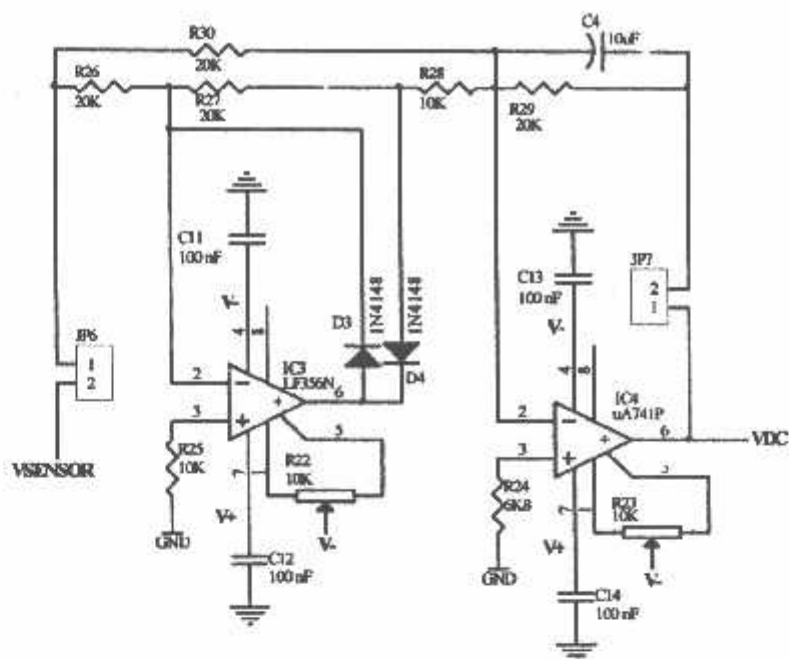
Untuk dapat mengambil sinyal hasil pengukuran dari sensor kelembaban, maka diperlukan rangkaian pengkondisi sinyal pada sensor tersebut. Rangkaian pengkondisi sinyal untuk sensor kelembaban terdapat pada gambar 7 dan 8.



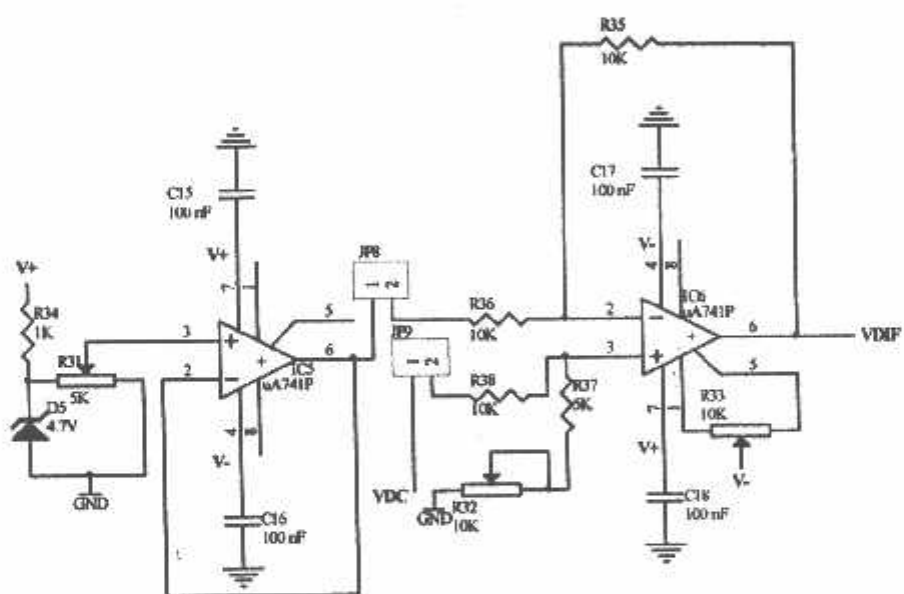
Gambar 7. Rangkaian Generator Sinus



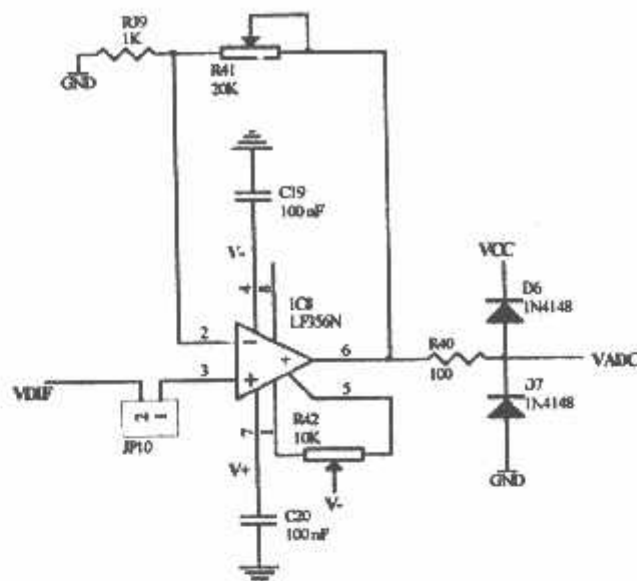
Gambar 8. Rangkaian Jembatan dan *Differential Amplifier*



Gambar 9. Rangkaian AC to DC Converter



Gambar 10. Rangkaian Subtraktor



Gambar 11. Rangkaian ADC Amplifier

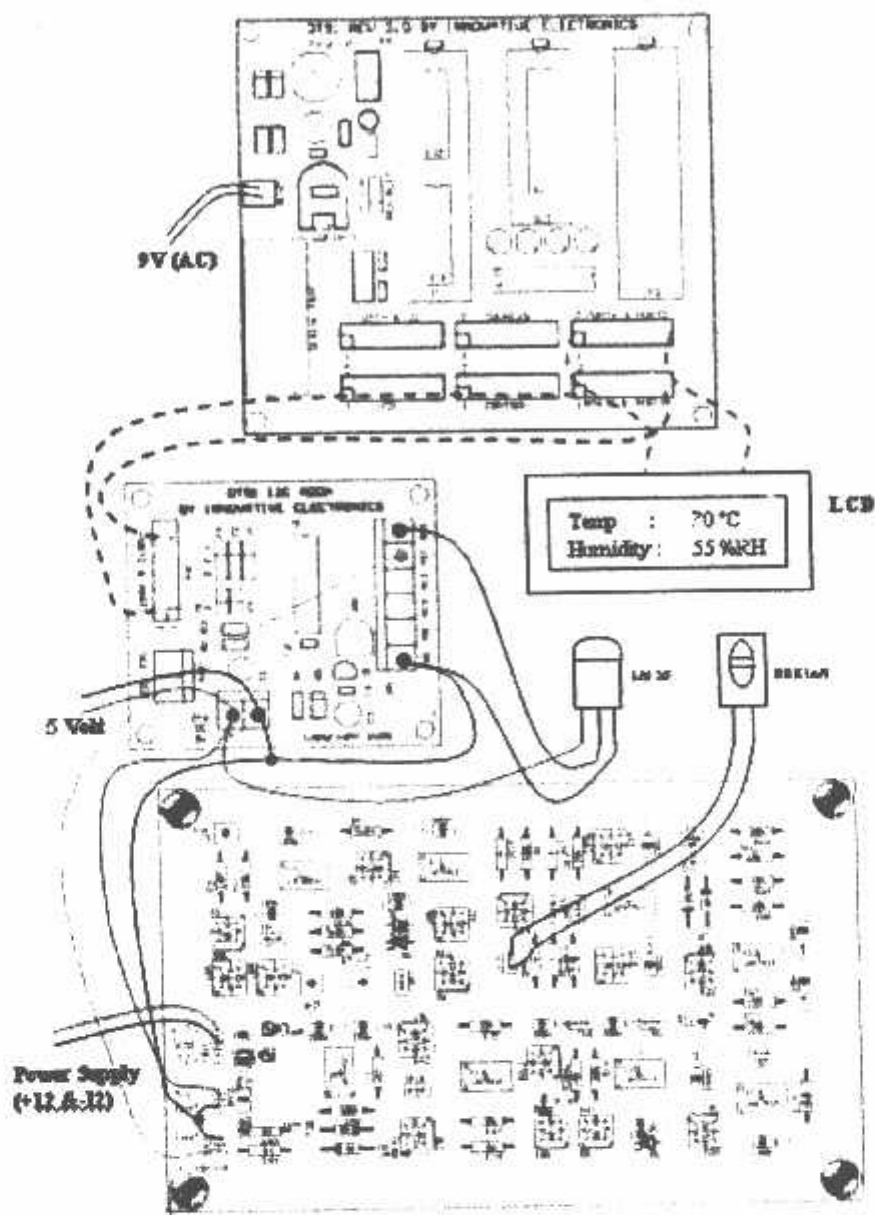
pip kerja rangkaian-rangkaian tersebut adalah sebagai berikut:

1. *Generator sinus osilator Wien* diatur untuk menghasilkan sinyal sinusoidal 1 kHz dengan amplitudo 1 Vpp.
2. Sinyal sinus diumpankan pada rangkaian jembatan dan outputnya dimasukkan pada *differential amplifier* dengan penguatan sebesar 10 kali.
3. Lalu sinyal dikirim ke *AC to DC converter* yang akan menghasilkan tegangan DC rata-rata dari suatu sinyal AC (penguat MAV).
4. Sinyal DC yang dihasilkan lalu dikirim ke suatu subtraktor (pengurang) untuk membuang *offset* tegangan dasar yang akan diperoleh apabila rangkaian dijalankan dengan melepas sensor.
5. Sinyal lalu dikirim ke penguat akhir untuk dikondisikan agar dapat dibaca oleh ADC.
6. Sebelum masuk ADC maka sinyal diberi suatu *clipper* dengan dioda sebagai pengaman untuk ADC.

tes kalibrasi rangkaian akusisi data :

1. Semua op-amp di *offset null*.
2. Mengatur *gain* dari penguat sensor menjadi 10 kali.
3. Mengatur besarnya pengurangan pada rangkaian pengurang sebesar -2000 mV.
4. Mengatur *gain* penguat akhir agar saat sensor di-short maka *output* dari op-amp adalah 2.5 V.

Koneksi secara keseluruhan dari alat ukur temperatur dan kelembaban di atas terdapat pada gambar 12 tabel 4.



Gambar 12. Koneksi Keseluruhan Alat Ukur Temperatur dan Kelembaban

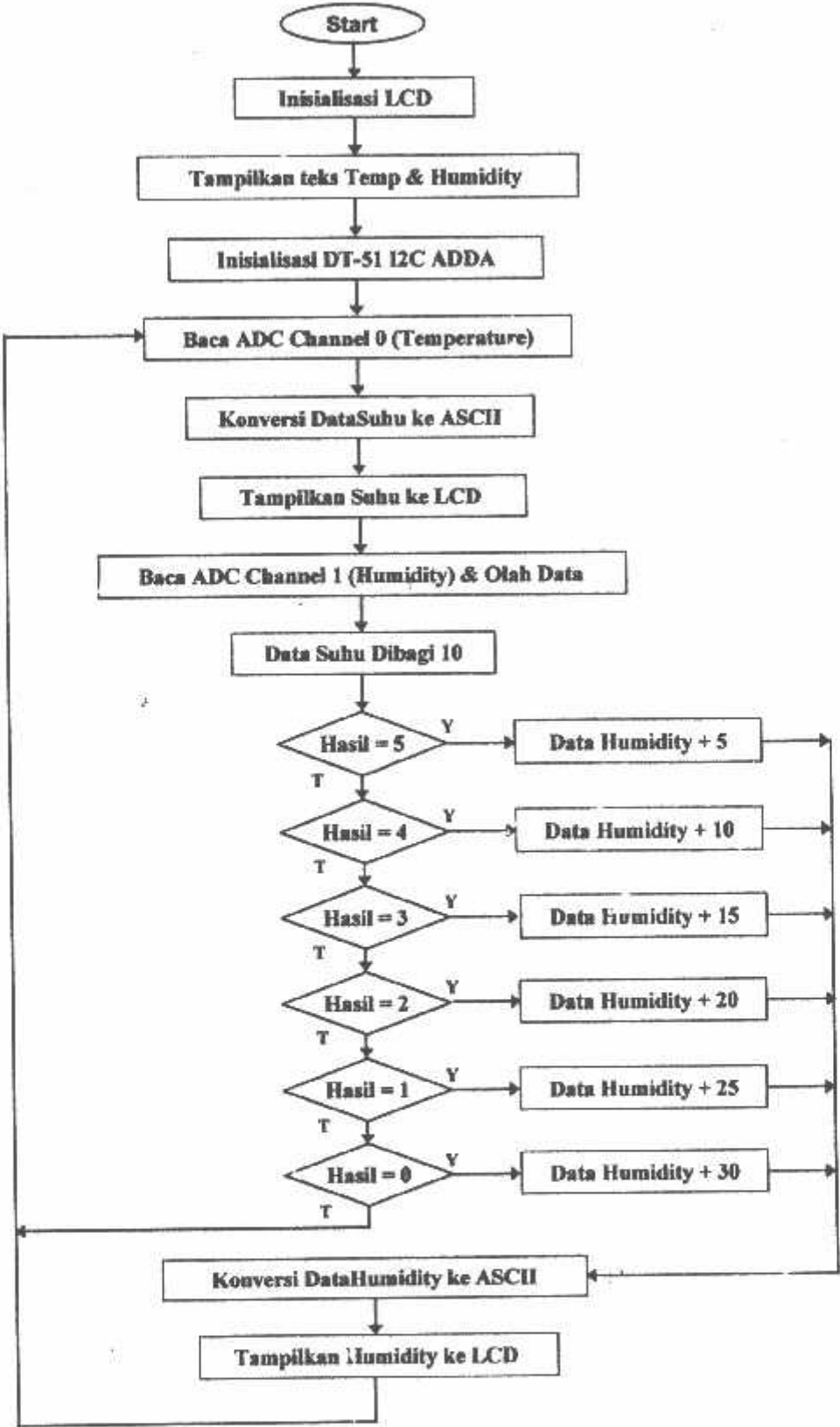
4. Koneksi DT-51 MinSys dengan Modul LCD & DT-51 I²C ADDA

Modul LCD		DT-51 MinSys	
Pin	Keterangan	Konektor & Pin	Keterangan
1	GND	LCD Pin 1	GND
2	VCC	LCD Pin 2	VCC
3	VO	LCD Pin 3	CON
4	RS	Port A & Port B Pin 9	B0
5	R/W	Port A & Port B Pin 10	B1
6	E	Port A & Port B Pin 11	B2
7	DB0	Port A & Port B Pin 1	A0
8	DB1	Port A & Port B Pin 2	A1
9	DB2	Port A & Port B Pin 3	A2
10	DB3	Port A & Port B Pin 4	A3
11	DB4	Port A & Port B Pin 5	A4
12	DB5	Port A & Port B Pin 6	A5
13	DB6	Port A & Port B Pin 7	A6
14	DB7	Port A & Port B Pin 8	A7
15	A (backlight)	LCD Pin 15	VCC
16	K (backlight)	LCD Pin 16	GND
DT-51 ADDA (JP4)			
Pin	Keterangan		
15	P16	Port C & Port 1 Pin 15	
16	P17	Port C & Port 1 Pin 16	

5. Koneksi DT-51 I²C ADDA dengan Sensor

DT-51 ADDA Input Pin	
AI0	Output LM35
AI1	Output Rangkaian Sensor Kelembaban
AI2	-
AI3	-
AO	-

Flowchart software untuk membaca kelembaban dan temperatur terdapat pada gambar 13.



Gambar 13. Flowchart Program

rangian :

l adalah nilai pembagian pembacaan temperatur/suhu. Sehingga, hasil = 5 artinya suhu antara 50°C s/d 59°C, l = 4 berarti suhu antara 40°C s/d 49°C. Demikian seterusnya.

ram akan beroperasi sebagai berikut:

1. Melakukan inisialisasi terhadap DT-51 I²C ADDA.
2. Melakukan pembacaan sensor suhu pada *channel* 0 dan menampilkan hasilnya ke LCD.
3. Melakukan pembacaan sensor kelembaban pada *channel* 1 dan mengolah data tersebut
4. Membandingkan data suhu dibagi 10 dengan variabel Hasil.
5. Jika data tersebut bersesuaian dengan nilai-nilai variabel Hasil, data kelembaban akan ditambahkan dengan nilai yang telah terprogram dan ditampilkan ke LCD.
6. Jika data tersebut tidak sesuai dengan nilai-nilai variabel Hasil, program akan melakukan pembacaan dari awal.

ting program terdapat pada **AN27.ZIP**.

lambat berinovasi!

10.LM555

LM555 Timer

General Description

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200mA or drive TTL circuits.

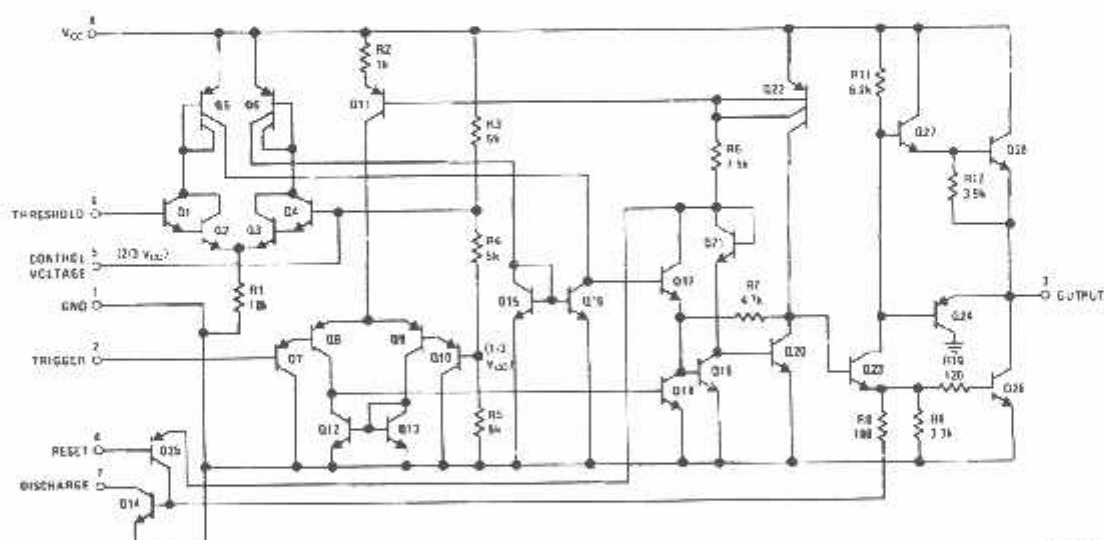
Features

- Direct replacement for SE555/NE555
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes
- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible
- Temperature stability better than 0.005% per °C
- Normally on and normally off output
- Available in 8-pin MSOP package

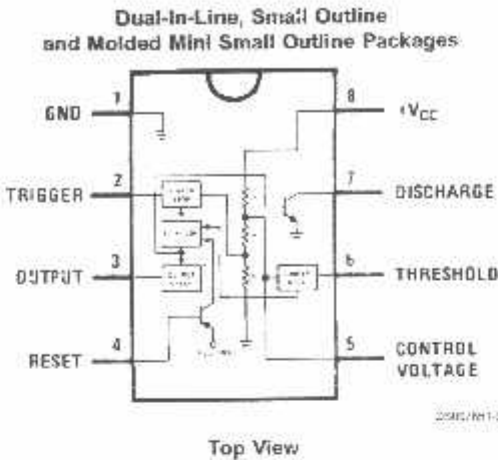
Applications

- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator

Schematic Diagram



Connection Diagram



Ordering Information

Package	Part Number	Package Marking	Media Transport	NSC Drawing
8-Pin SOIC	LM555CM	LM555CM	Reels	M08A
	LM555CMX	LM555CM	2.5k Units Tape and Reel	
8-Pin MSOP	LM555CMM	Z55	1k Units Tape and Reel	M0A03A
	LM555CMMX	Z55	3.5k Units Tape and Reel	
8-Pin MDIP	LM555CN	LM555CN	Reels	N08E

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

Military/Aerospace specified devices are required, use contact the National Semiconductor Sales Office/Representatives for availability and specifications.

Supply Voltage	+18V
Power Dissipation (Note 3)	
LM555CM, LM555CN	180 mW
LM555CMM	613 mW
Operating Temperature Ranges	
LM555C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Soldering Information

Dual-In-Line Package	
Soldering (10 Seconds)	260°C
Small Outline Packages (SOIC and MSOP)	
Vapor Phase (60 Seconds)	215°C
Infrared (15 Seconds)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

Electrical Characteristics (Notes 1, 2)

$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V}$ to +15V, unless otherwise specified.

Parameter	Conditions	Limits			Units
		LM555C			
		Min	Typ	Max	
Supply Voltage		4.5		16	V
Supply Current	$V_{CC} = 5V, R_L = \infty$ $V_{CC} = 15V, R_L = \infty$ (Low State) (Note 4)		3 10	6 15	mA
Timing Error, Monostable			1		%
Initial Accuracy			50		ppm/°C
Drift with Temperature	$R_A = 1k$ to $100k\Omega$, $C = 0.1\mu F$, (Note 5)		1.5		%
Accuracy over Temperature			0.1		%/V
Drift with Supply					%/V
Timing Error, Astable			2.25		%
Initial Accuracy			150		ppm/°C
Drift with Temperature	$R_A, R_B = 1k$ to $100k\Omega$, $C = 0.1\mu F$, (Note 5)		3.0		%
Accuracy over Temperature			0.30		%/V
Drift with Supply					%/V
Threshold Voltage			0.067		$\times V_{CC}$
Trigger Voltage	$V_{CC} = 15V$ $V_{CC} = 5V$		5 1.67		V
Trigger Current			0.5	0.9	μA
Reset Voltage		0.4	0.5	1	V
Reset Current			0.1	0.4	mA
Threshold Current	(Note 6)		0.1	0.25	μA
Control Voltage Level	$V_{CC} = 15V$ $V_{CC} = 5V$	9 2.6	10 3.33	11 4	V
7 Leakage Output High			1	100	nA
7 Sat (Note 7)					
Output Low	$V_{CC} = 15V, I_L = 15mA$		180		mV
Output Low	$V_{CC} = 4.5V, I_L = 4.5mA$		80	200	mV

Electrical Characteristics (Notes 1, 2) (Continued)

($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V}$ to $+15\text{V}$, unless otherwise specified)

Parameter	Conditions	Limits			Units
		LM555C			
		Min	Typ	Max	
Output Voltage Drop (Low)	$V_{CC} = 15V$				
	$I_{SINK} = 10mA$		0.1	0.25	V
	$I_{SINK} = 50mA$		0.4	0.75	V
	$I_{SINK} = 100mA$		2	2.5	V
	$I_{SINK} = 200mA$		3.5		V
	$V_{CC} = 5V$				
	$I_{SINK} = 8mA$				V
	$I_{SINK} = 5mA$		0.25	0.35	V
Output Voltage Drop (High)	$I_{SOURCE} = 200mA$ $V_{CC} = 15V$		12.5		V
	$I_{SOURCE} = 100mA$ $V_{CC} = 15V$	12.75	13.3		V
	$V_{CC} = 5V$	2.75	3.3		V
Rise Time of Output			100		ns
Fall Time of Output			100		ns

Note 1: All voltages are measured with respect to the ground pin, unless otherwise specified.

Note 2: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

Note 3: For operating at elevated temperatures the device must be derated above 25°C based on a $+150^\circ\text{C}$ maximum junction temperature and a thermal resistance of 106°C/W (DIP), 170°C/W (SO-8), and 204°C/W (MSOP) junction to ambient.

Note 4: Supply current when output high typically 1 mA less at $V_{CC} = 5\text{V}$.

Note 5: Tested at $V_{OL} = 5\text{V}$ and $V_{CC} = 15\text{V}$.

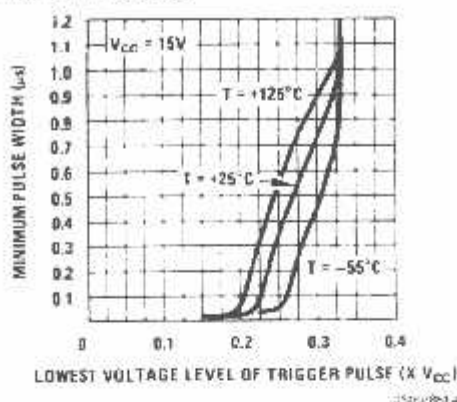
Note 6: This will determine the maximum value of $R_A + R_B$ for 15V operation. The maximum total ($R_A + R_B$) is $20\text{M}\Omega$.

Note 7: No protection against excessive pin 7 current is necessary provided the package dissipation rating will not be exceeded.

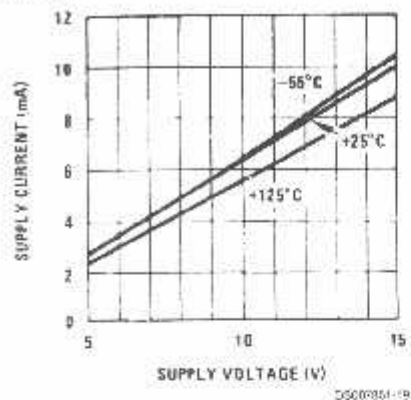
Note 8: Refer to RET555SX drawing of military LM555H and LM555J versions for specifications.

Typical Performance Characteristics

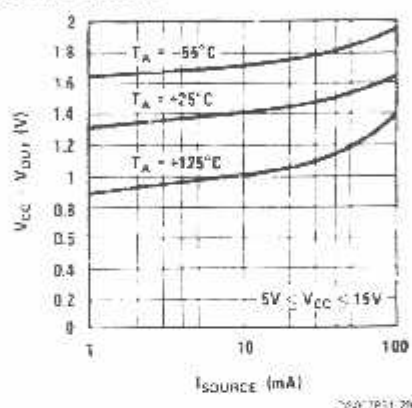
Minimum Pulse Width
Required for Triggering



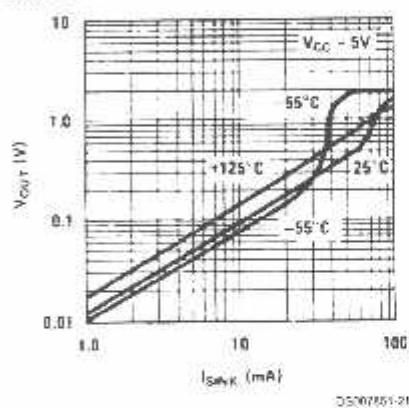
Supply Current vs.
Supply Voltage



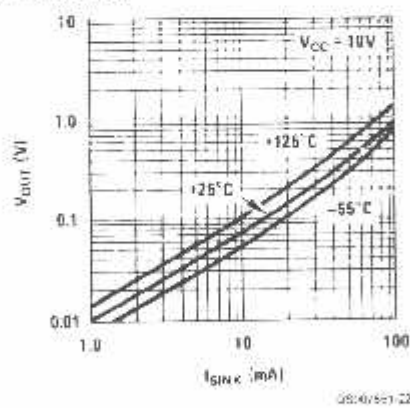
High Output Voltage vs.
Output Source Current



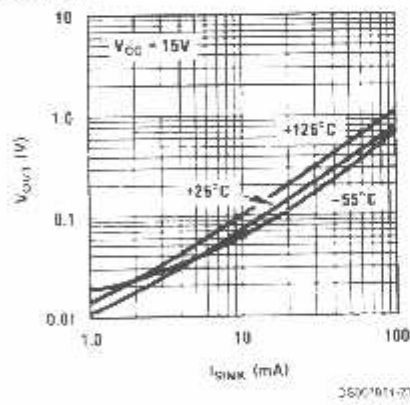
Low Output Voltage vs.
Output Sink Current



High Output Voltage vs.
Output Sink Current

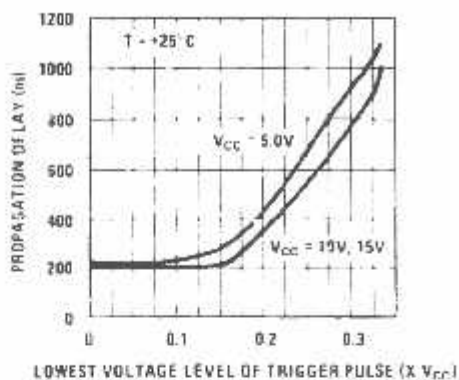


Low Output Voltage vs.
Output Sink Current

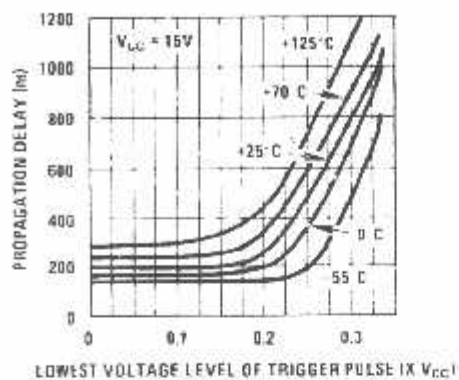


Typical Performance Characteristics (Continued)

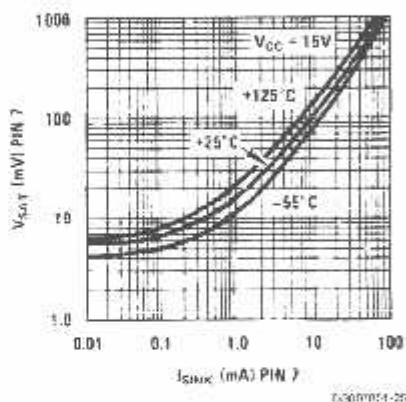
Output Propagation Delay vs.
Voltage Level of Trigger Pulse



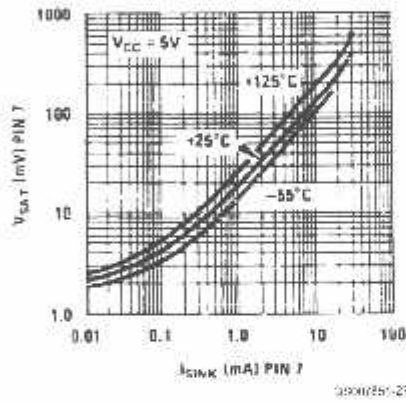
Output Propagation Delay vs.
Voltage Level of Trigger Pulse



Discharge Transistor (Pin 7)
Voltage vs. Sink Current



Discharge Transistor (Pin 7)
Voltage vs. Sink Current



Applications Information

MONOSTABLE OPERATION

In this mode of operation, the timer functions as a one-shot (Figure 1). The external capacitor is initially held discharged by a transistor inside the timer. Upon application of a negative trigger pulse of less than $1/3 V_{CC}$ to pin 2, the flip-flop is set which both releases the short circuit across the capacitor and drives the output high.

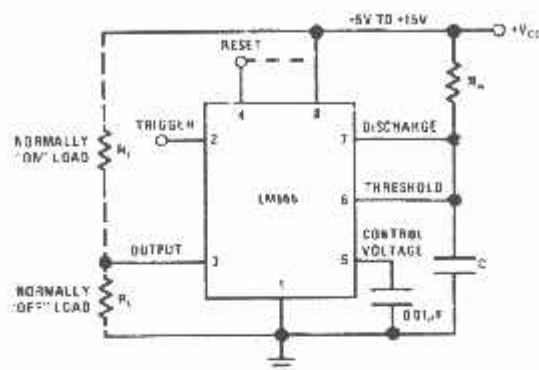
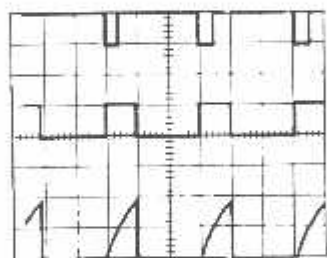


FIGURE 1. Monostable

The voltage across the capacitor then increases exponentially for a period of $t = 1.1 R_A C$, at the end of which time the voltage equals $2/3 V_{CC}$. The comparator then resets the flip-flop which in turn discharges the capacitor and drives the output to its low state. Figure 2 shows the waveforms generated in this mode of operation. Since the charge and the threshold level of the comparator are both directly proportional to supply voltage, the timing interval is independent of supply.



$V_{CC} = 5V$
 $\Delta F = 0.1 \text{ ms/DIV}$
 $R_A = 9.1k$
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Input 5V/Div.
 Middle Trace: Output 5V/Div.
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 2V/Div.

FIGURE 2. Monostable Waveforms

During the timing cycle when the output is high, the further application of a trigger pulse will not effect the circuit so long as the trigger input is returned high at least $10\mu s$ before the end of the timing interval. However the circuit can be reset during this time by the application of a negative pulse to the set terminal (pin 4). The output will then remain in the low state until a trigger pulse is again applied.

When the reset function is not in use, it is recommended that it be connected to V_{CC} to avoid any possibility of false triggering.

Figure 3 is a nomograph for easy determination of R_A , C values for various time delays.

NOTE: In monostable operation, the trigger should be driven high before the end of timing cycle.

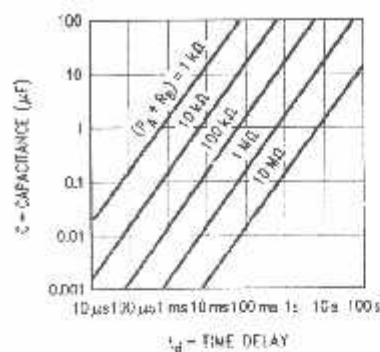


FIGURE 3. Time Delay

ASTABLE OPERATION

If the circuit is connected as shown in Figure 4 (pins 2 and 6 connected) it will trigger itself and free run as a multivibrator. The external capacitor charges through $R_A + R_B$ and discharges through R_B . Thus the duty cycle may be precisely set by the ratio of these two resistors.

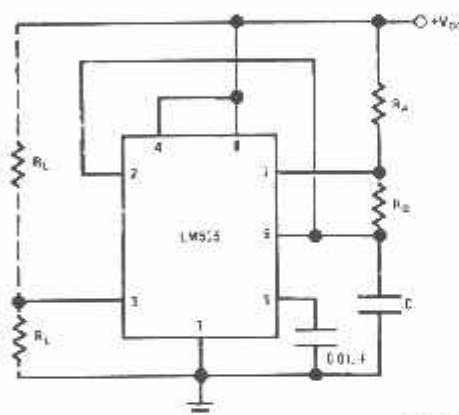
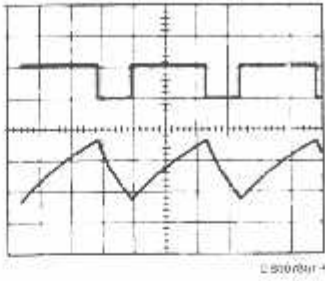


FIGURE 4. Astable

In this mode of operation, the capacitor charges and discharges between $1/3 V_{CC}$ and $2/3 V_{CC}$. As in the triggered mode, the charge and discharge times, and therefore the frequency are independent of the supply voltage.

Applications Information (Continued)

Figure 5 shows the waveforms generated in this mode of operation.



$V_{CC} = 5V$
 $TIME = 20\mu s/DIV$
 $R_A = 3.9k$
 $R_B = 3k$
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Output 5V/Div.
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 1V/Div.

FIGURE 5. Astable Waveforms

The charge time (output high) is given by:

$$t_1 = 0.693 (R_A + R_B) C$$

And the discharge time (output low) by

$$t_2 = 0.693 (R_B) C$$

Thus the total period is:

$$T = t_1 + t_2 = 0.693 (R_A + 2R_B) C$$

The frequency of oscillation is:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) C}$$

Figure 6 may be used for quick determination of these RC values.

The duty cycle is:

$$D = \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$

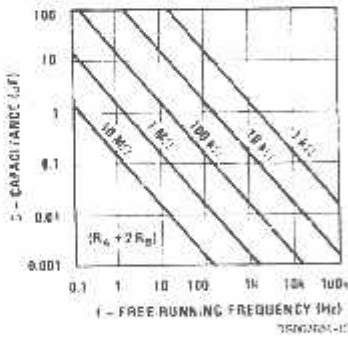
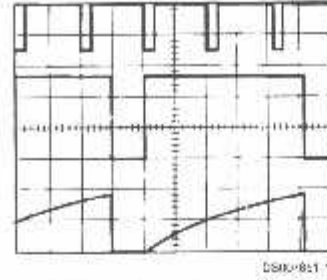


FIGURE 6. Free Running Frequency

FREQUENCY DIVIDER

The monostable circuit of Figure 1 can be used as a frequency divider by adjusting the length of the timing cycle. Figure 7 shows the waveforms generated in a divide by three circuit.



$V_{CC} = 5V$
 $TIME = 20\mu s/DIV$
 $R_A = 9.1k$
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Input 4V/Div.
 Middle Trace: Output 2V/Div.
 Bottom Trace: Capacitor 2V/Div.

FIGURE 7. Frequency Divider

PULSE WIDTH MODULATOR

When the timer is connected in the monostable mode and triggered with a continuous pulse train, the output pulse width can be modulated by a signal applied to pin 5. Figure 8 shows the circuit, and in Figure 9 are some waveform examples.

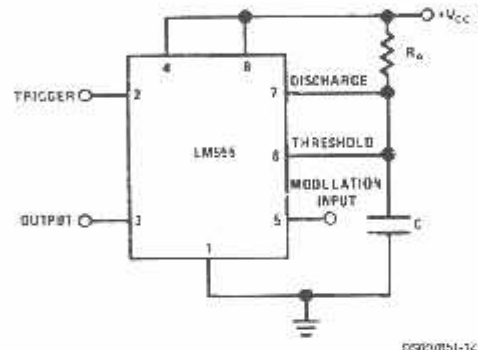
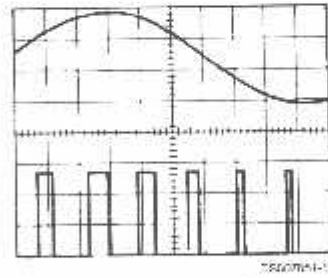


FIGURE 8. Pulse Width Modulator



$V_{CC} = 5V$
 $TIME = 0.2 ms/DIV$
 $R_A = 9.1k$
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Modulation 1V/Div.
 Bottom Trace: Output Voltage 2V/Div.

FIGURE 9. Pulse Width Modulator

Applications Information (Continued)

PULSE POSITION MODULATOR

This application uses the timer connected for astable operation, as in Figure 10, with a modulating signal again applied to the control voltage terminal. The pulse position varies with the modulating signal, since the threshold voltage and hence the time delay is varied. Figure 11 shows the waveforms generated for a triangle wave modulation signal.

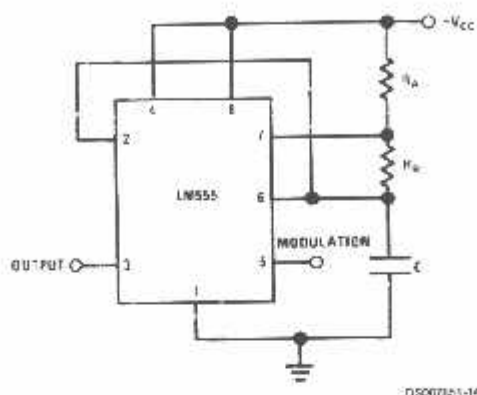
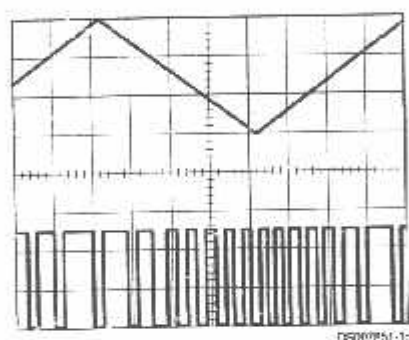


FIGURE 10. Pulse Position Modulator



$V_{CC} = 5V$
 $IE = 0.1mA/DIV$
 $R_1 = 3.9k$
 $R_2 = 10k$
 $C = 0.01\mu F$

FIGURE 11. Pulse Position Modulator

LINEAR RAMP

When the pullup resistor, R_A , in the monostable circuit is replaced by a constant current source, a linear ramp is generated. Figure 12 shows a circuit configuration that will perform this function.

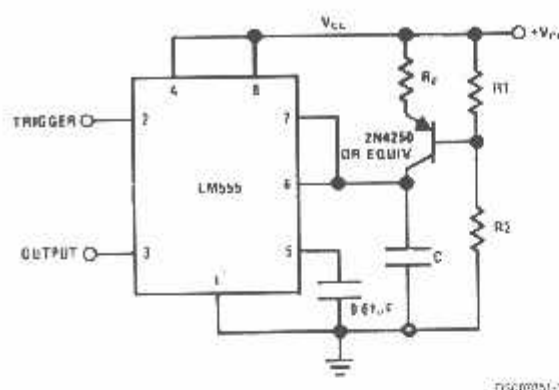


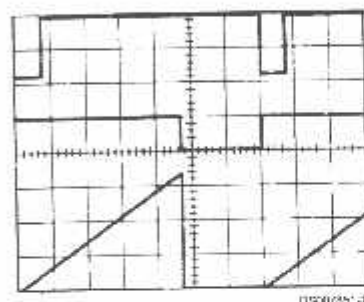
FIGURE 12.

Figure 13 shows waveforms generated by the linear ramp. The time interval is given by:

$$T = \frac{2/3 V_{CC} R_E (R_1 + R_2) C}{R_1 V_{CC} - V_{BE} (R_1 + R_2)}$$

$$V_{BE} = 0.6V$$

$$V_{CE} = 0.6V$$



$V_{CC} = 5V$
 $TIME = 20\mu s/DIV$
 $R_1 = 47k$
 $R_2 = 100k$
 $R_E = 2.7k$
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Input 3V/Div.
 Middle Trace: Output 5V/Div.
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 1V/Div.

FIGURE 13. Linear Ramp

Applications Information (Continued)

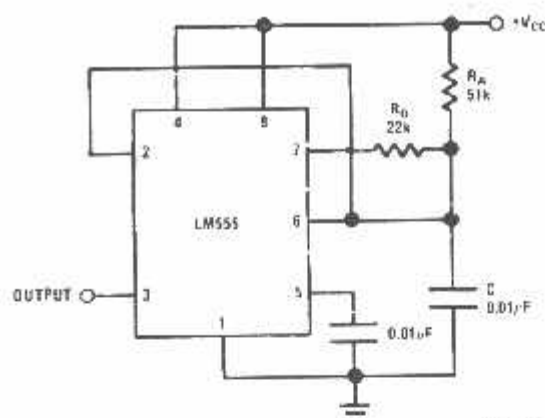
50% DUTY CYCLE OSCILLATOR

For a 50% duty cycle, the resistors R_A and R_B may be connected as in Figure 14. The time period for the output high is the same as previous, $t_1 = 0.693 R_A C$. For the output low it is $t_2 =$

$$\left[(R_A R_B) / (R_A + R_B) \right] C \ln \left[\frac{R_B - 2R_A}{2R_B - R_A} \right]$$

Thus the frequency of oscillation is

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2}$$



004076e1-16

FIGURE 14. 50% Duty Cycle Oscillator

Note that this circuit will not oscillate if R_B is greater than $1/2 R_A$ because the junction of R_A and R_B cannot bring pin 2 down to $1/3 V_{CC}$ and trigger the lower comparator.

ADDITIONAL INFORMATION

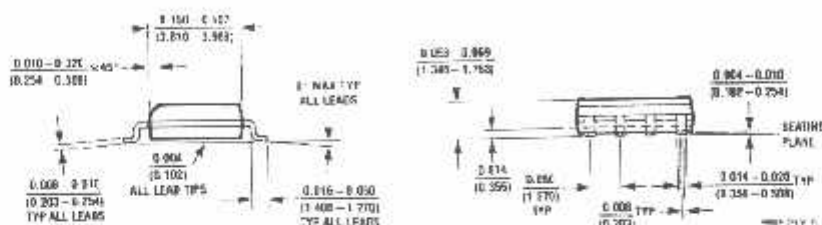
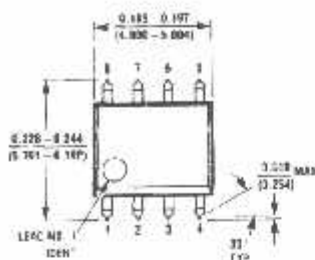
Adequate power supply bypassing is necessary to protect associated circuitry. Minimum recommended is $0.1\mu F$ in parallel with $1\mu F$ electrolytic.

Lower comparator storage time can be as long as $10\mu s$ when pin 2 is driven fully to ground for triggering. This limits the monostable pulse width to $10\mu s$ minimum.

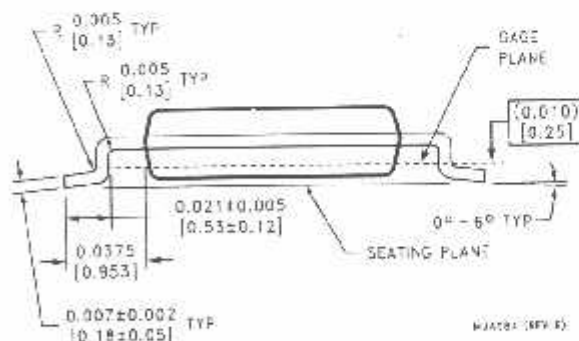
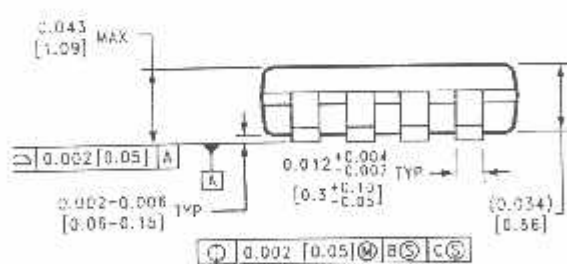
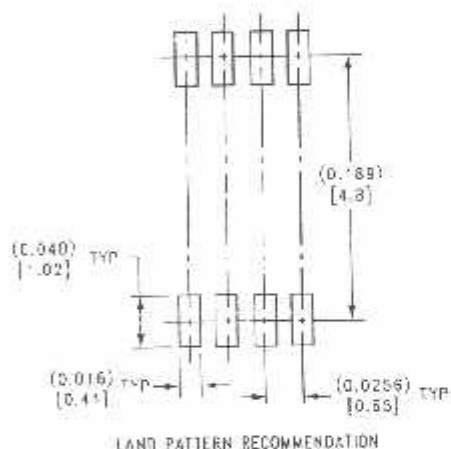
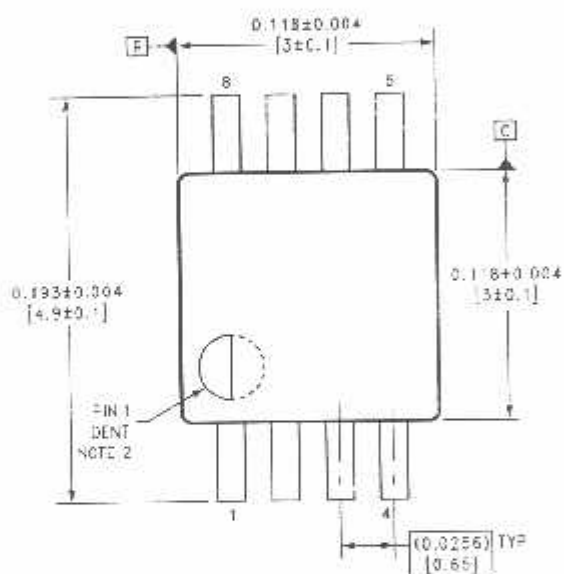
Delay time reset to output is $0.47\mu s$ typical. Minimum reset pulse width must be $0.3\mu s$, typical.

Pin 7 current switches within $30ns$ of the output (pin 3) voltage.

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted

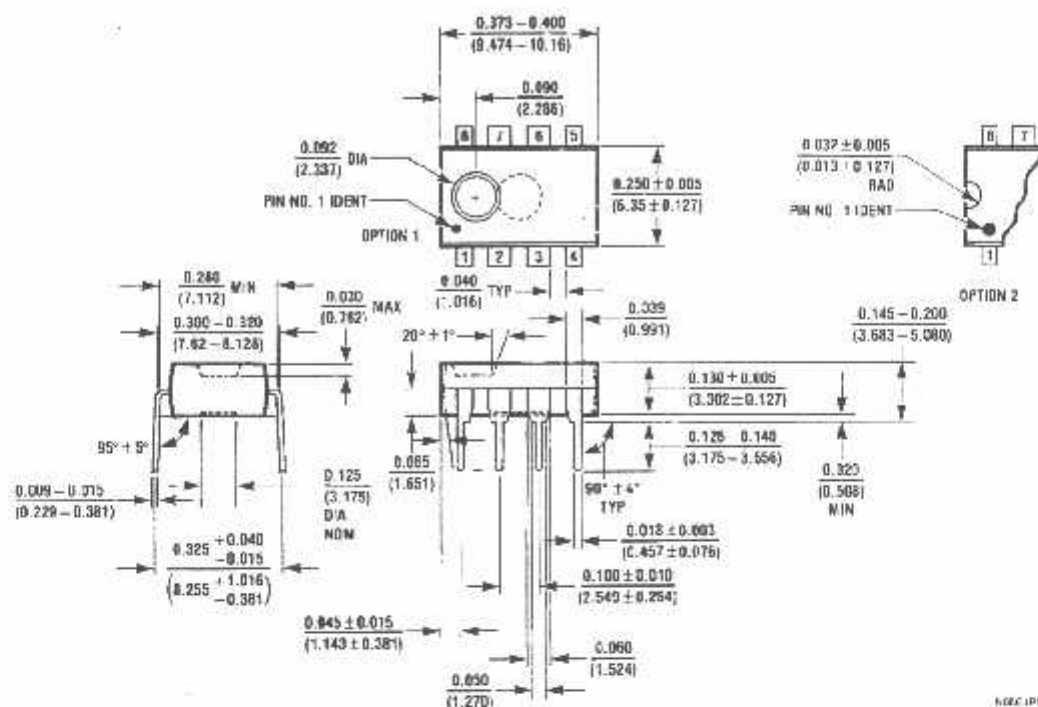


Small Outline Package (M)
NS Package Number M08A



8-Lead (0.118" Wide) Molded Mini Small Outline Package
NS Package Number MUA08A

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Molded Dual-In-Line Package (N)
NS Package Number N08E

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

National Semiconductor Corporation
Americas
Tel: 1-800-272-9858
Fax: 1-800-737-7318
Email: support@nsc.com
www.national.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 180-530 85 89
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch: Tel: +49 (0) 89 9506 8208
English: Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français: Tel: +33 (0) 1 41 91 8750

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544488
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5839-7580
Fax: 81-3-5839-7537

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

11.LM358

LM158/LM258/LM358/LM2904

Low Power Dual Operational Amplifiers

General Description

The LM158 series consists of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM158 series can be directly operated off of the standard +5V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional $\pm 15V$ power supplies.

The LM358 is also available in a chip sized package (8-Bump micro SMD) using National's micro SMD package technology.

Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.
- The unity gain cross frequency is temperature compensated.
- The input bias current is also temperature compensated.

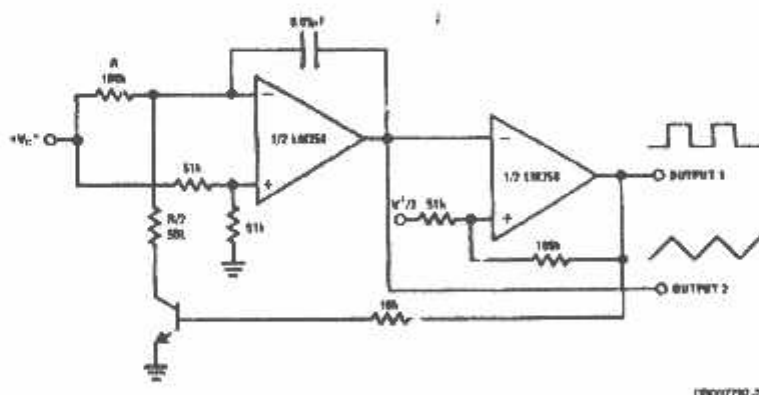
Advantages

- Two internally compensated op amps
- Eliminates need for dual supplies
- Allows direct sensing near GND and V_{OUT} also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation
- Pin-out same as LM155/LM1458 dual op amp

Features

- Available in 8-Bump micro SMD chip sized package, (See AN-1112)
- Internally frequency compensated for unity gain
- Large dc voltage gain: 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain): 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
 - Single supply: 3V to 32V
 - or dual supplies: $\pm 1.5\text{V}$ to $\pm 16\text{V}$
- Very low supply current drain (500 μA)—essentially independent of supply voltage
- Low input offset voltage: 2 mV
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing: 0V to $V^+ - 1.5\text{V}$

Voltage Controlled Oscillator (VCO)



Absolute Maximum Ratings (Note 9)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

	LM158/LM258/LM358 LM158A/LM258A/LM358A	LM2904
Supply Voltage, V^+	32V	26V
Differential Input Voltage	32V	26V
Input Voltage	-0.3V to +32V	-0.3V to +26V
Power Dissipation (Note 1)		
Molded DIP	830 mW	830 mW
Metal Can	550 mW	
Small Outline Package (M)	530 mW	530 mW
micro SMD	435mW	
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 2)		
$V^+ \leq 15V$ and $T_A = 25^\circ C$	Continuous	Continuous
Input Current ($V_{in} < -0.3V$) (Note 3)	50 mA	50 mA
Operating Temperature Range		
LM358	0°C to +70°C	-40°C to +85°C
LM258	-25°C to +85°C	
LM158	-55°C to +125°C	
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Lead Temperature, DIP (Soldering, 10 seconds)	260°C	260°C
Lead Temperature, Metal Can (Soldering, 10 seconds)	300°C	300°C
Soldering Information		
Dual-In-Line Package		
Soldering (10 seconds)	260°C	260°C
Small Outline Package		
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.		
ESD Tolerance (Note 10)	250V	250V

Electrical Characteristics

$V^+ = +5.0V$, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 5), $T_A = 25^\circ C$	1	2		2	3		2	5		mV
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$, $T_A = 25^\circ C$, $V_{CM} = 0V$, (Note 6)	20	50		45	100		45	150		nA
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$	2	10		5	30		3	30		nA
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30V$, (Note 7) (LM2904, $V^+ = 26V$), $T_A = 25^\circ C$	0	$V^+ - 1.5$		0	$V^+ - 1.5$		0	$V^+ - 1.5$		V
Supply Current	Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ on All Op Amps										
	$V^+ = 30V$ (LM2904 $V^+ = 26V$) $V^+ = 5V$	1 0.5	2 1.2		1 0.5	2 1.2		1 0.5	2 1.2		mA mA

| Electrical Characteristics | | | | | | | | | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

0.0V, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM358			LM2904			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 5), $T_A = 25^\circ\text{C}$		2	7		2	7	mV
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CM} = 0\text{V}$, (Note 8)		45	250		45	250	nA
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		5	50		5	50	nA
Common-Mode Range	$V^+ = 30\text{V}$, (Note 7) (LM2904, $V^+ = 26\text{V}$), $T_A = 25^\circ\text{C}$	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	V
Output Current	Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ on All Op Amps $V^+ = 30\text{V}$ (LM2904 $V^+ = 26\text{V}$) $V^+ = 5\text{V}$		1 0.5	2 1.2		1 0.5	2 1.2	mA mA

| Electrical Characteristics | | | | | | | | | | | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

0.0V, (Note 4), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$V^+ = 15\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, (For $V_O = 1\text{V}$ to 11V)	50	100		25	100		50	100		V/mV
Common-Mode Ratio	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CM} = 0\text{V}$ to $V^+ - 1.5\text{V}$	70	85		65	85		70	85		dB
Supply Ratio	$V^+ = 5\text{V}$ to 30V (LM2904, $V^+ = 5\text{V}$ to 26V), $T_A = 25^\circ\text{C}$	65	100		65	100		65	100		dB
Common-Mode to Amplifier	$f = 1\text{ kHz}$ to 20 kHz , $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Input Referred), (Note 8)	-120			-120			-120			dB
Input Current	Source $V_{IN}^+ = 1\text{V}$, $V_{IN}^- = 0\text{V}$, $V^+ = 15\text{V}$, $V_O = 2\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	20	40		20	40		20	40		mA
	Sink $V_{IN}^+ = 1\text{V}$, $V_{IN}^- = 0\text{V}$, $V^+ = 15\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_O = 2\text{V}$	10	20		10	20		10	20		mA
	$V_{IN}^+ = 1\text{V}$, $V_{IN}^- = 0\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_O = 200\text{ mV}$, $V^+ = 15\text{V}$	12	50		12	50		12	50		μA
Output Current to Ground	$T_A = 25^\circ\text{C}$, (Note 2), $V^+ = 15\text{V}$	40	80		40	60		40	80		mA
Input Offset Voltage	(Note 5)		4			5			7		mV
Input Offset Voltage	$R_E = 0\Omega$		7	15		7	20		7		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$		30			75			100		nA
Input Offset Current	$R_E = 0\Omega$		10	200		10	300		10		$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$		40	100		40	200		40	300	nA
Common-Mode Range	$V^+ = 30\text{V}$, (Note 7) (LM2904, $V^+ = 26\text{V}$)	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	V

Electrical Characteristics (Continued)

$V^+ = +5.0V$, (Note 4), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15V$ ($V_O = 1V$ to $11V$) $R_L \geq 2k\Omega$	25			15			25			V/mV
Output Voltage Swing	V_{OH} $V^+ = +30V$ (LM2904, $V^+ = 26V$)			26			26			26	V
	$R_L = 2k\Omega$			27			27			27	V
Output Current	V_{OL} $V^+ = 5V$, $R_L = 10k\Omega$		5	20		5	20		5	20	mV
	Source $V_{IN}^+ = +1V$, $V_{IN}^- = 0V$, $V^+ = 15V$, $V_O = 2V$	10	20		10	20		10	20		mA
Output Current	Sink $V_{IN}^- = +1V$, $V_{IN}^+ = 0V$, $V^+ = 15V$, $V_O = 2V$	10	15		5	8		5	8		mA

Electrical Characteristics

$V^+ = +5.0V$, (Note 4), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM358			LM2904			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15V$, $T_A = 25^\circ C$, $R_L \geq 2k\Omega$, (For $V_O = 1V$ to $11V$)	25	100		25	100		V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	$T_A = 25^\circ C$, $V_{CM} = 0V$ to $V^+ - 1.5V$	65	85		50	70		dB
Power Supply Rejection Ratio	$V^+ = 5V$ to $30V$ (LM2904, $V^+ = 5V$ to $26V$), $T_A = 25^\circ C$	65	100		50	100		dB
Amplifier-to-Amplifier Coupling	$f = 1kHz$ to $20kHz$, $T_A = 25^\circ C$ (Input Referred), (Note 8)		-120			-120		dB
Output Current	Source $V_{IN}^+ = 1V$, $V_{IN}^- = 0V$, $V^+ = 15V$, $V_O = 2V$, $T_A = 25^\circ C$	20	40		20	40		mA
	Sink $V_{IN}^- = 1V$, $V_{IN}^+ = 0V$, $V^+ = 15V$, $T_A = 25^\circ C$, $V_O = 2V$	10	20		10	20		mA
	$V_{IN}^- = 1V$, $V_{IN}^+ = 0V$, $T_A = 25^\circ C$, $V_O = 200mV$, $V^+ = 15V$	12	50		12	50		μA
Short Circuit to Ground	$T_A = 25^\circ C$, (Note 2), $V^+ = 15V$		40	60		40	60	mA
Input Offset Voltage	(Note 5)			9			10	mV
Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\Omega$		7			7		$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$			150		45	200	nA
Input Offset Current Drift	$R_S = 0\Omega$		10			10		$pA/^\circ C$
Input Bias Current	$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}$		40	500		40	500	nA
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30V$, (Note 7) (LM2904, $V^+ = 26V$)	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	V

trical Characteristics (Continued)

i.OV, (Note 4), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM358			LM2904			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Signal Voltage	$V^+ = +15V$ ($V_O = 1V$ to $11V$) $R_L \geq 2 k\Omega$	15			15			V/mV
	V_{OH}							V
	$V^+ = +30V$ (LM2904, $V^+ = 26V$)	26			22			V
	$R_L = 2 k\Omega$ $R_L = 10 k\Omega$	27	28		23	24		V
	V_{OL}							mV
	$V^+ = 5V, R_L = 10 k\Omega$		5	20		5	100	mV
Current	Source							mA
	$V_{IN}^+ = +1V, V_{IN}^- = 0V,$ $V^+ = 15V, V_O = 2V$	10	20		10	20		mA
	Sink							mA
	$V_{IN}^- = +1V, V_{IN}^+ = 0V,$ $V^+ = 15V, V_O = 2V$	5	8		5	8		mA

For operating at high temperatures, the LM358/LM358A, LM2904 must be derated based on a $+125^\circ C$ maximum junction temperature and a thermal θ_{JA} of $120^\circ C/W$ for MDIP, $182^\circ C/W$ for Metal Can, $189^\circ C/W$ for Small Outline package, and $230^\circ C/W$ for micro SMD, which applies for the device soldered in circuit board, operating in a still air ambient. The LM258/LM258A and LM158/LM158A can be derated based on a $+150^\circ C$ maximum junction temperature. Deration is the total of both amplifiers — use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in a short circuit.

Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V^+ . At values of supply voltage in excess of $+15V$, continuous short-circuits can exceed the power ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the input. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the V^+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration the input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value less than $-0.3V$ (at $25^\circ C$).

These specifications are limited to $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ for the LM158/LM158A. With the LM258/LM258A, all temperature specifications are limited to $-25^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$. The LM358/LM358A temperature specifications are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$, and the LM2904 specifications are limited to $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$. $V_O = 1.4V, R_S = 0\Omega$ with V^+ from 5V to 30V; and over the full input common-mode range (0V to $V^+ - 1.5V$) at $25^\circ C$. For LM2904, V^+ from 5V to 26V.

The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so long as a change exists on the input lines.

The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than $0.3V$ (at $25^\circ C$). The upper end of the input common-mode voltage range is $V^+ - 1.5V$ (at $25^\circ C$), but either or both inputs can go to $+32V$ without damage ($+26V$ for LM2904), independent of the magnitude of V^+ .

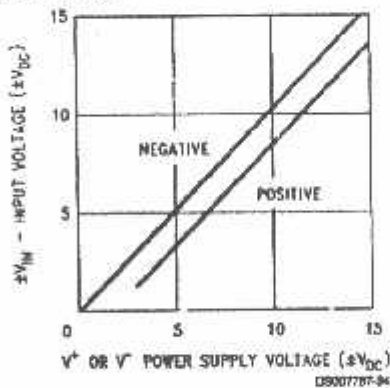
Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be as this type of capacitance increases at higher frequencies.

Refer to RETS158AX for LM158A military specifications and to RETS158X for LM158 military specifications.

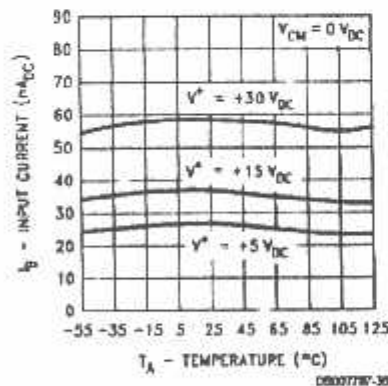
Human body model, $1.5 k\Omega$ in series with $100 pF$.

ical Performance Characteristics

Voltage Range

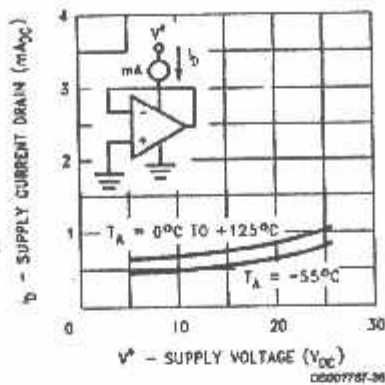


Input Current

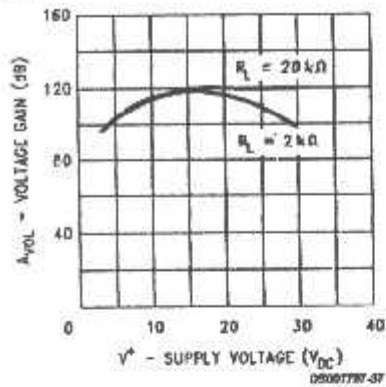


Typical Performance Characteristics (Continued)

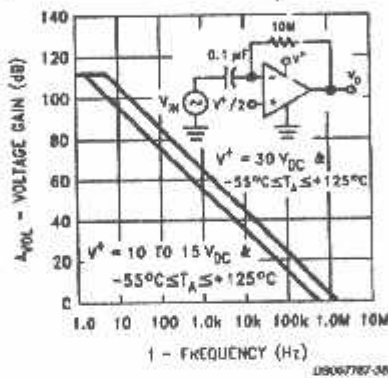
Supply Current



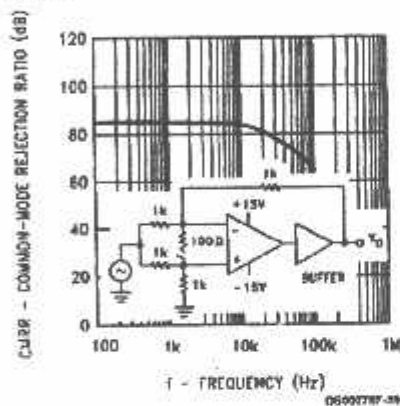
Voltage Gain



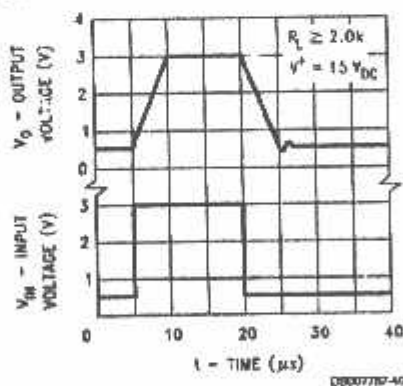
Open Loop Frequency Response



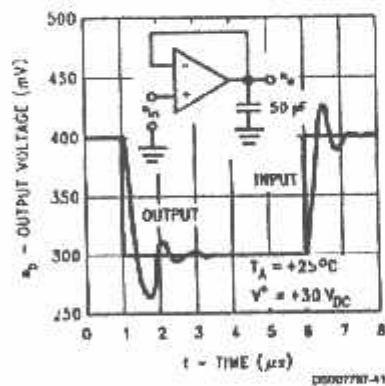
Common-Mode Rejection Ratio



Voltage Follower Pulse Response



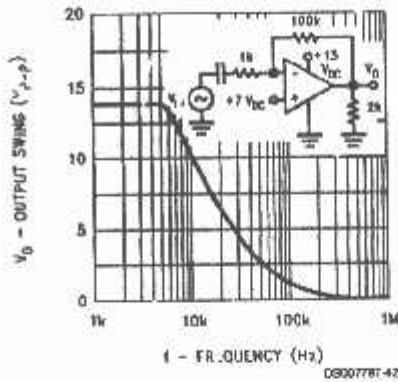
Voltage Follower Pulse Response (Small Signal)



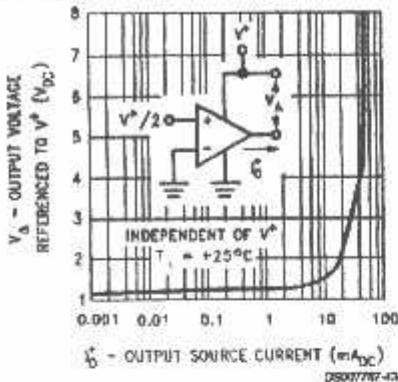
ical Performance Characteristics (Continued)

LM158/LM258/LM358/LM2904

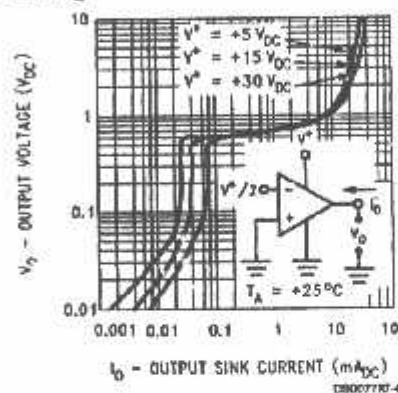
Signal Frequency Response



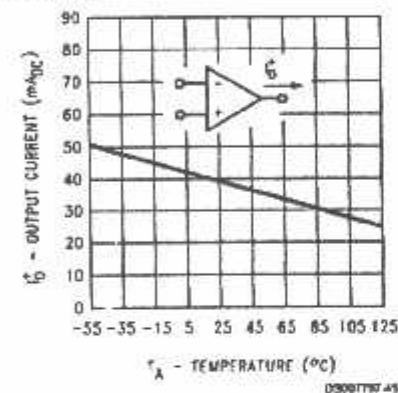
Output Characteristics Current Sourcing



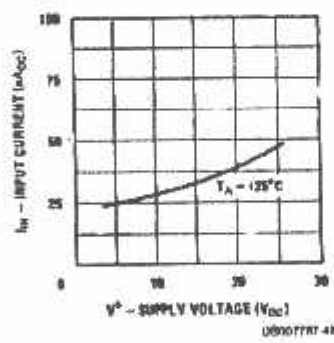
Output Characteristics Sinking



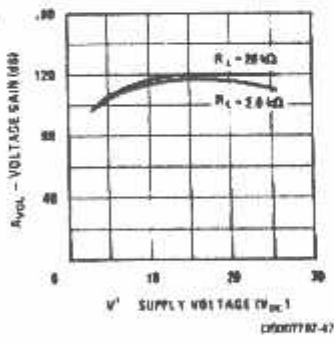
Current Limiting



Input Current (LM2902 only)



Voltage Gain (LM2902 only)



Application Hints

LM158 series are op amps which operate with only a power supply voltage, have true-differential inputs, and can be used in the linear mode with an input common-mode voltage of 0 V_{DC}. These amplifiers operate over a wide range of supply voltage with little change in performance characteristics. At 25°C amplifier operation is possible down to a minimum supply voltage of 2.3 V_{DC}.

Precautions should be taken to insure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a test socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit. Large differential input voltages can be easily accommodated and, as input differential voltage protection diodes are not needed, no large input currents result from large differential input voltages. The differential input voltage may be larger

Application Hints (Continued)

than V^+ without damaging the device. Protection should be provided to prevent the input voltages from going negative more than $-0.3 V_{DC}$ (at 25°C). An input clamp diode with a resistor to the IC input terminal can be used.

To reduce the power supply current drain, the amplifiers have a class A output stage for small signal levels which converts to class B in a large signal mode. This allows the amplifiers to both source and sink large output currents. Therefore both NPN and PNP external current boost transistors can be used to extend the power capability of the basic amplifiers. The output voltage needs to raise approximately 1 diode drop above ground to bias the on-chip vertical PNP transistor for output current sinking applications.

For ac applications, where the load is capacitively coupled to the output of the amplifier, a resistor should be used, from the output of the amplifier to ground to increase the class A bias current and prevent crossover distortion. Where the load is directly coupled, as in dc applications, there is no crossover distortion.

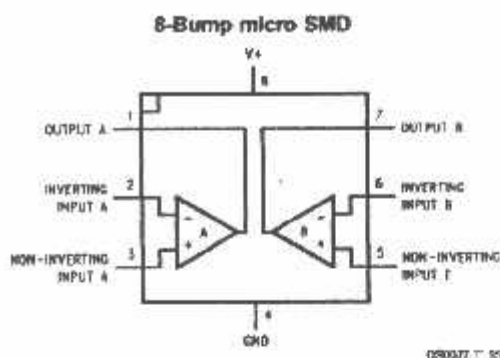
Capacitive loads which are applied directly to the output of the amplifier reduce the loop stability margin. Values of 50 pF can be accommodated using the worst-case non-inverting unity gain connection. Large closed loop gains or resistive isolation should be used if larger load capacitance must be driven by the amplifier.

The bias network of the LM158 establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of $3 V_{DC}$ to $30 V_{DC}$.

Output short circuits either to ground or to the positive power supply should be of short time duration. Units can be destroyed, not as a result of the short circuit current causing metal fusing, but rather due to the large increase in IC chip dissipation which will cause eventual failure due to excessive junction temperatures. Putting direct short-circuits on more than one amplifier at a time will increase the total IC power dissipation to destructive levels, if not properly protected with external dissipation limiting resistors in series with the output leads of the amplifiers. The larger value of output source current which is available at 25°C provides a larger output current capability at elevated temperatures (see typical performance characteristics) than a standard IC op amp.

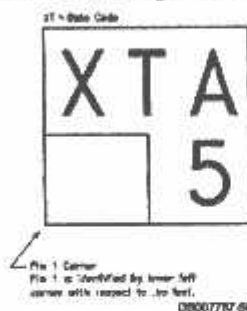
The circuits presented in the section on typical applications emphasize operation on only a single power supply voltage. If complementary power supplies are available, all of the standard op amp circuits can be used. In general, introducing a pseudo-ground (a bias voltage reference of $V^+/2$) will allow operation above and below this value in single power supply systems. Many application circuits are shown which take advantage of the wide input common-mode voltage range which includes ground. In most cases, input biasing is not required and input voltages which range to ground can easily be accommodated.

Connection Diagrams



Top View
(Bump Side Down)

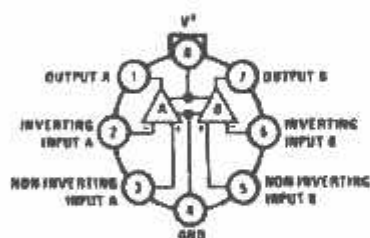
micro SMD Marking Orientation



Bumps are numbered counter-clockwise.

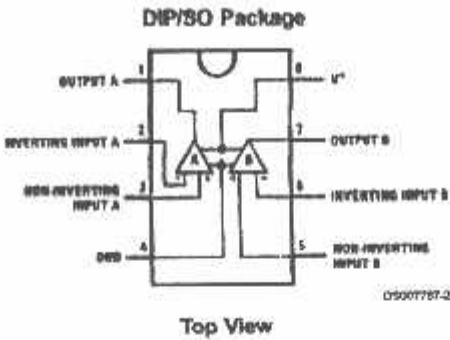
Top View

Metal Can Package



Top View

ection Diagrams (Continued)



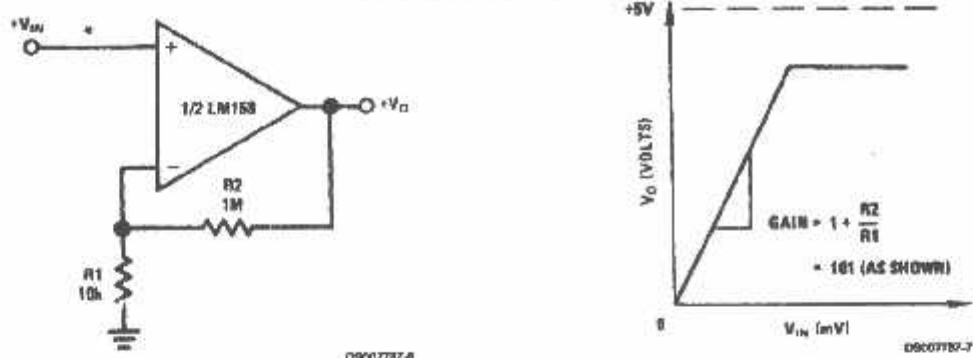
ering Information

Package	Temperature Range				NSC Drawing
	-55°C to 125°C	-25°C to 85°C	0°C to 70°C	-40°C to 85°C	
			LM358AM LM358AMX LM358M LM358MX	LM2904M	M08A
Molded			LM358AN LM358N	LM2904N	N08E
Ceramic	LM158AJ/883(Note 11) LM158J/883(Note 11) LM158J LM158AJLQML(Note 12) LM158AJQMLV(Note 12)				J08A
8-Pin Can	LM158AH/883(Note 11) LM158H/883(Note 11) LM158AH LM158H LM158AH QML(Note 12) LM158AHQMLV(Note 12)	LM258H	LM358H		H08C
16-pin micro			LM358BP LM358BPX		BPA08AAB

LM158 is available per SMD #6062-8771001
is available per STD #6062-8771002
See STD MIL DWG 6062L87710 for Radiation Tolerant Devices

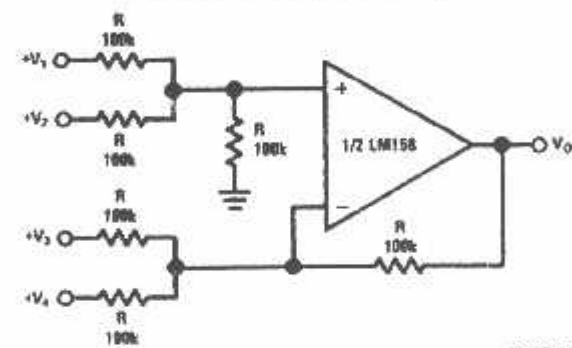
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0\text{ V}_{\text{DC}}$)

Non-Inverting DC Gain (0V Output)



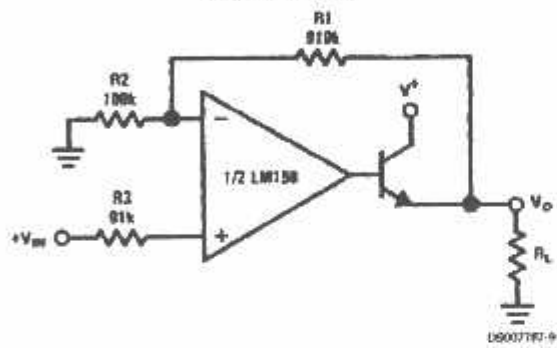
*R not needed due to temperature independent I_{B1}

DC Summing Amplifier ($V_{INs} \geq 0\text{ V}_{\text{DC}}$ and $V_O \geq 0\text{ V}_{\text{DC}}$)



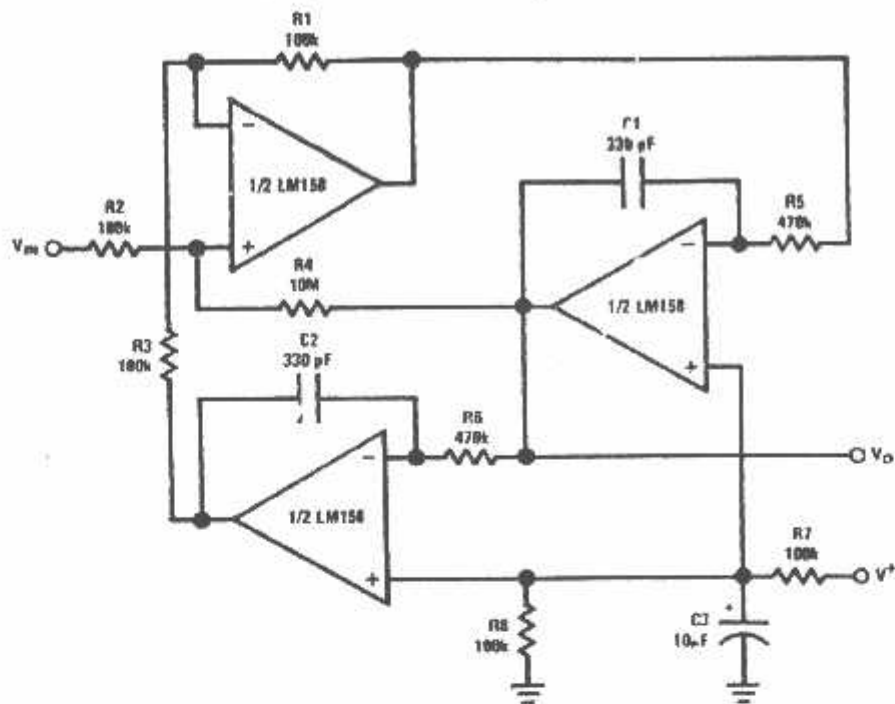
Where: $V_O = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$
 $(V_1 + V_2) \geq (V_3 + V_4)$ to keep $V_O \geq 0\text{ V}_{\text{DC}}$

Power Amplifier



$V_O = 0\text{ V}_{\text{DC}}$ for $V_{IN} = 0\text{ V}_{\text{DC}}$
 $A_v = 10$

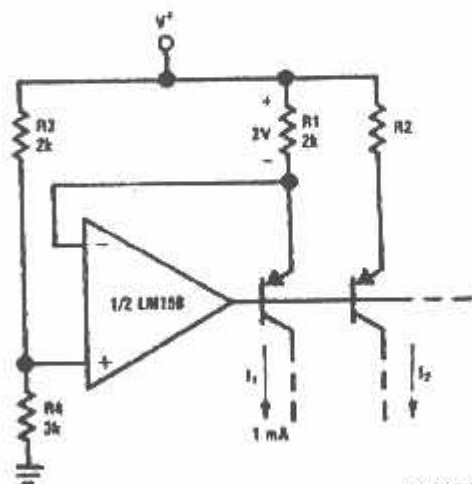
"BI-QUAD" RC Active Bandpass Filter



DS007720-10

12
(40 :B)

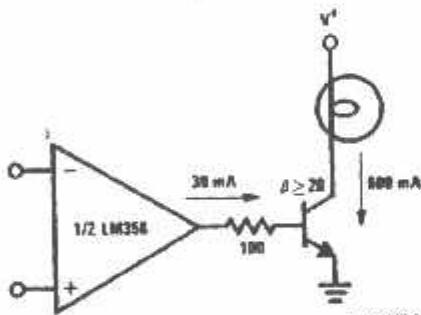
Fixed Current Sources



DS007720-11

$$\frac{R1}{R2} I_1$$

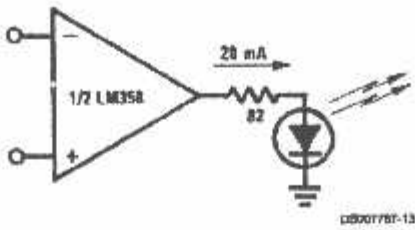
Lamp Driver



DS007720-12

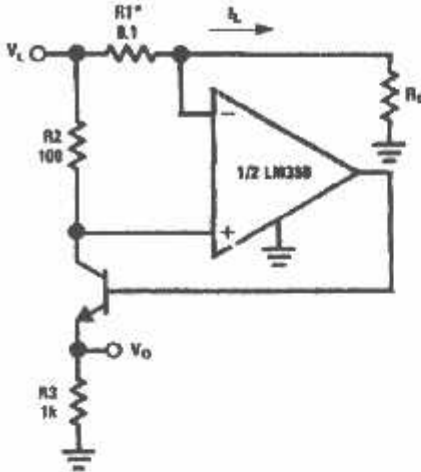
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0\text{ V}_{OC}$) (Continued)

LED Driver



00007787-13

Current Monitor

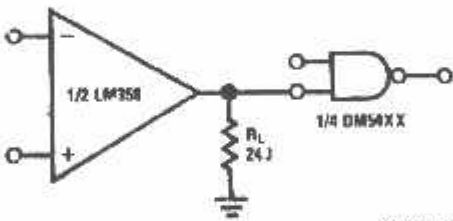


00007787-14

$$V_O = \frac{1V(I_L)}{1A}$$

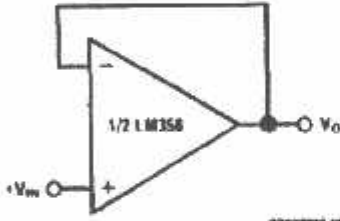
*(Increase $R1$ for I_L small)
 $V_L \leq V^+ - 2V$

Driving TTL



00007787-15

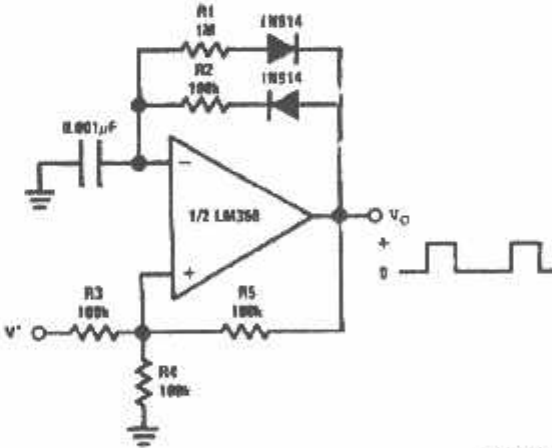
Voltage Follower



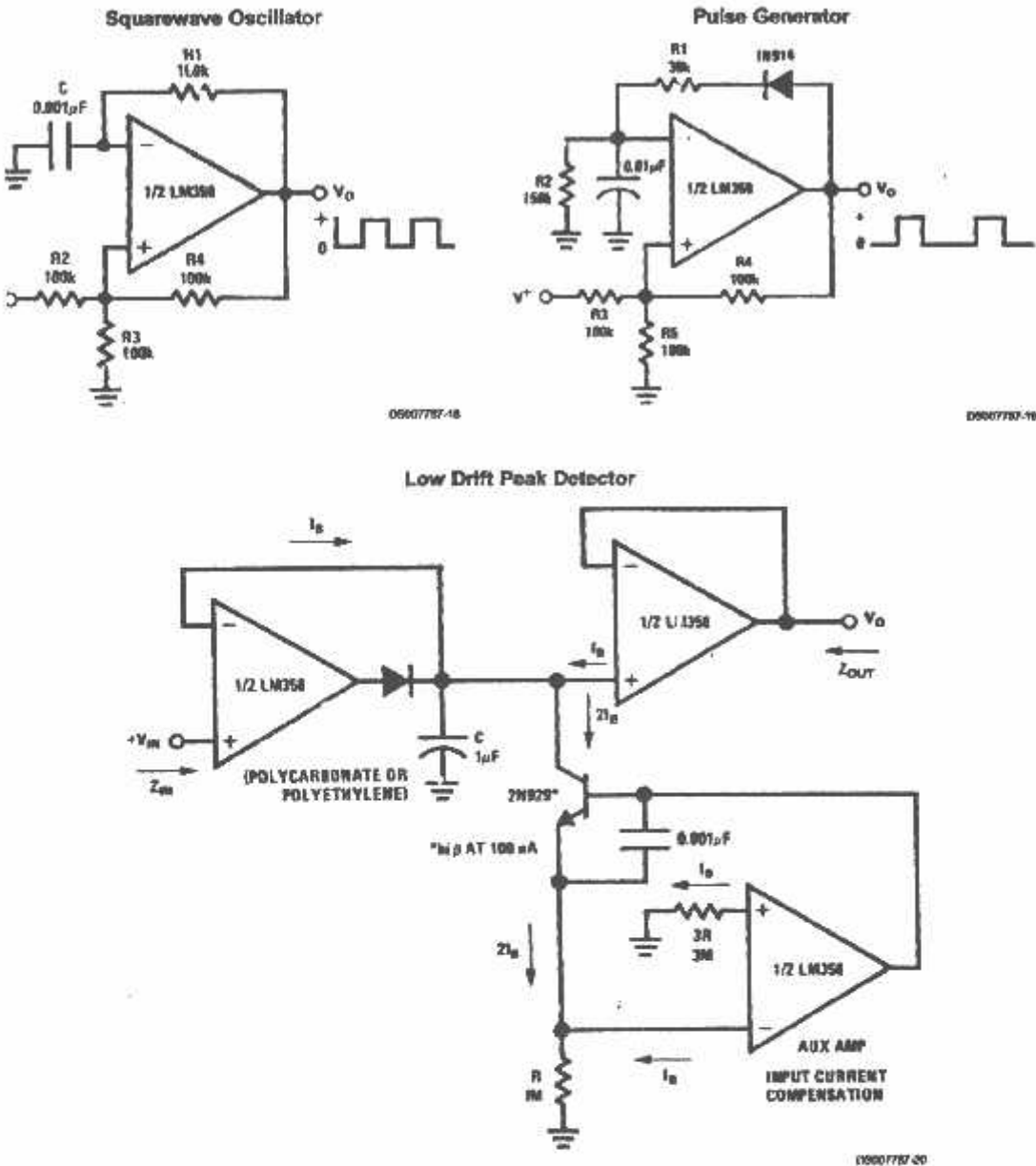
00007787-17

$$V_O = V_{IN}$$

Pulse Generator

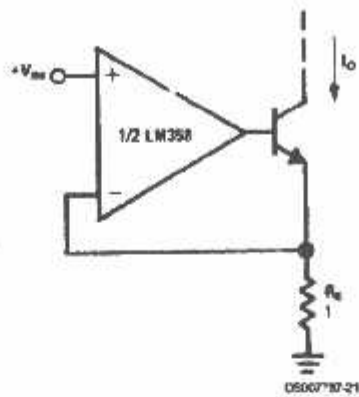


00007787-18



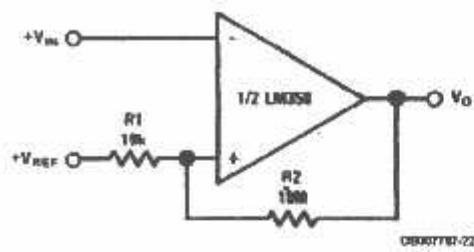
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0\text{ V}_{DC}$) (Continued)

High Compliance Current Sink



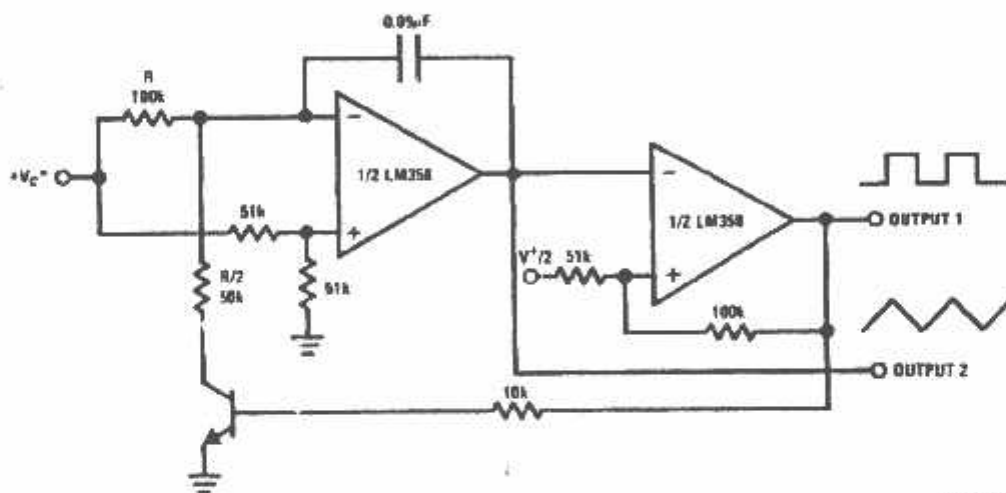
$I_O = 1\text{ amp/volt } V_{IN}$
(Increase R_E for I_O small)

Comparator with Hysteresis



DS90C07-22

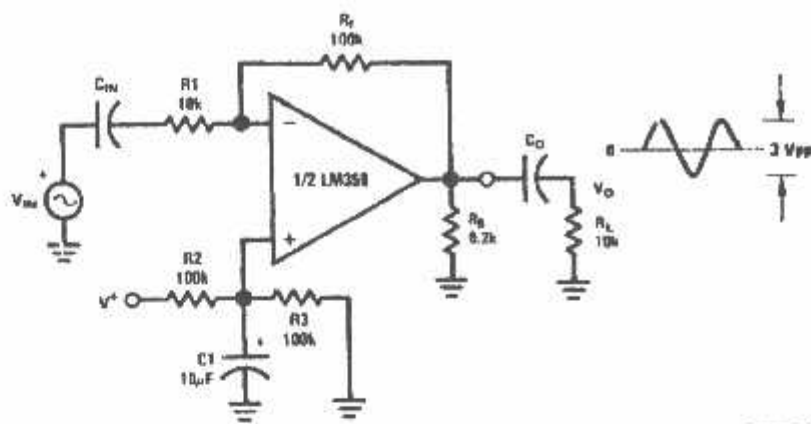
Voltage Controlled Oscillator (VCO)



DS90C07-23

*WIDE CONTROL VOLTAGE RANGE: $0\text{ V}_{DC} \leq V_C \leq 2(V^+ - 1.5\text{V}_{DC})$

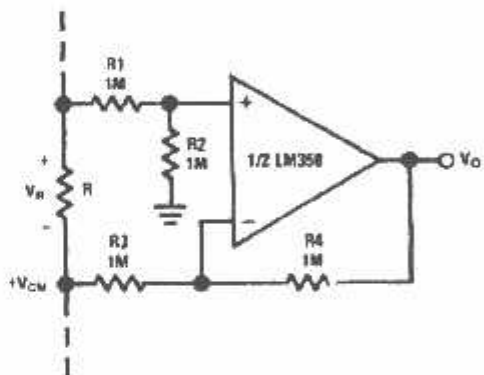
AC Coupled Inverting Amplifier



DS90T767-24

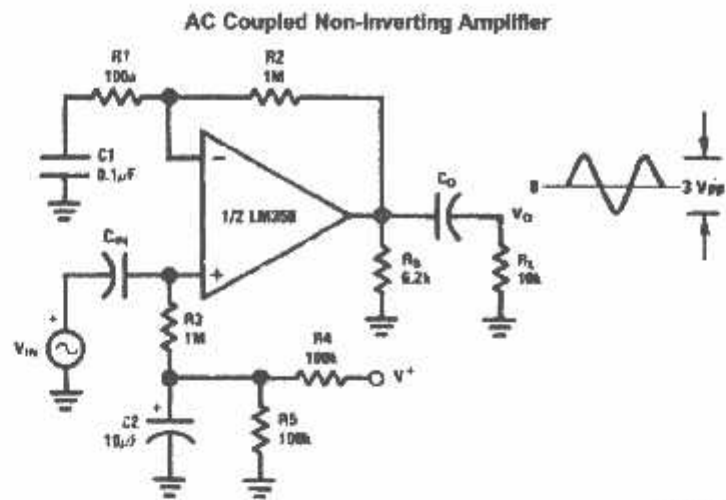
(As shown, $A_v \approx 10$)

Ground Referencing a Differential Input Signal



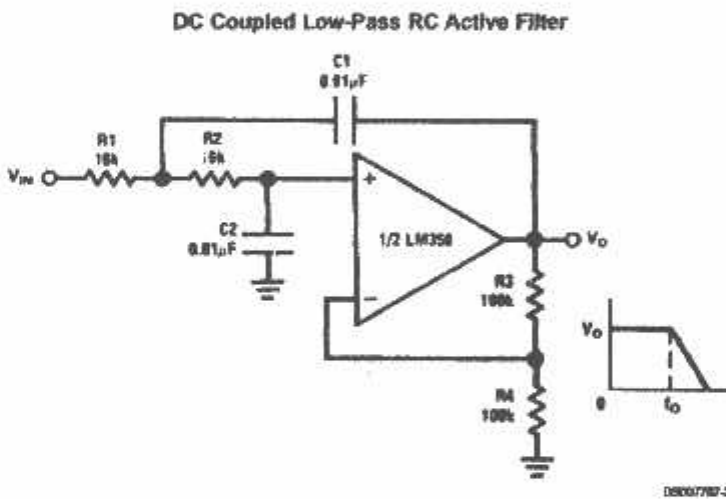
DS90T767-25

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0\text{ V}_{DC}$) (Continued)



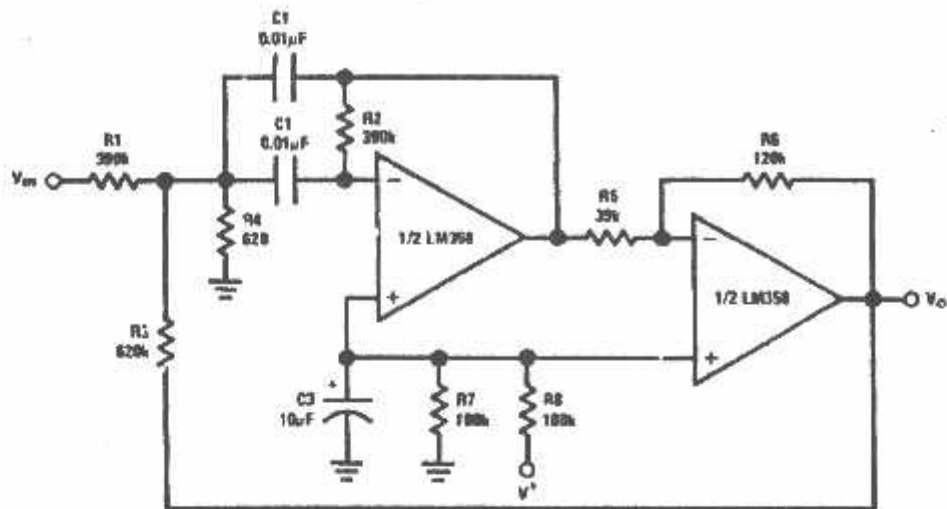
$$A_V = 1 + \frac{R2}{R1}$$

$A_V = 11$ (As Shown)



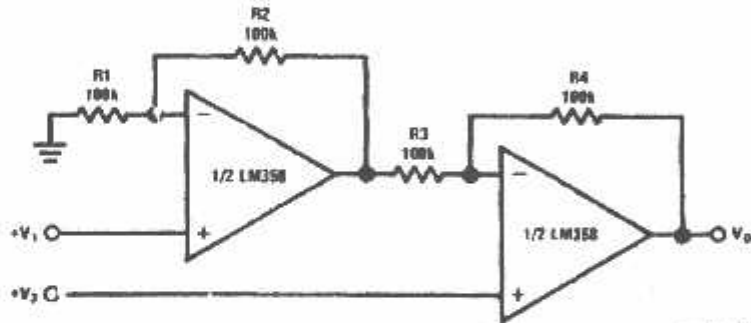
$f_o = 1\text{ kHz}$
 $Q = 1$
 $A_V = 2$

Bandpass Active Filter



DS901787-28

High Input Z, DC Differential Amplifier

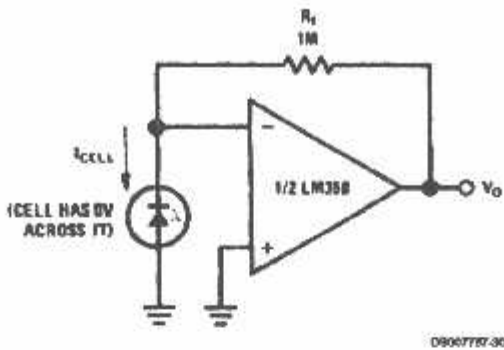


DS901787-28

$$= \frac{R4}{R3} \text{ (CMRR depends on this resistor ratio match)}$$
$$\frac{R4}{R3} (V_2 - V_1)$$
$$\therefore V_0 = 2 (V_2 - V_1)$$

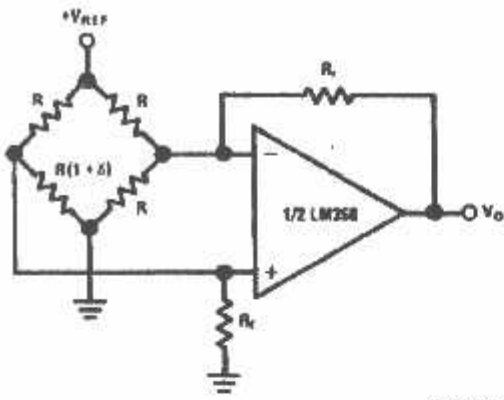
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0\text{ V}_{DC}$) (Continued)

Photo Voltaic-Cell Amplifier



DS007787-30

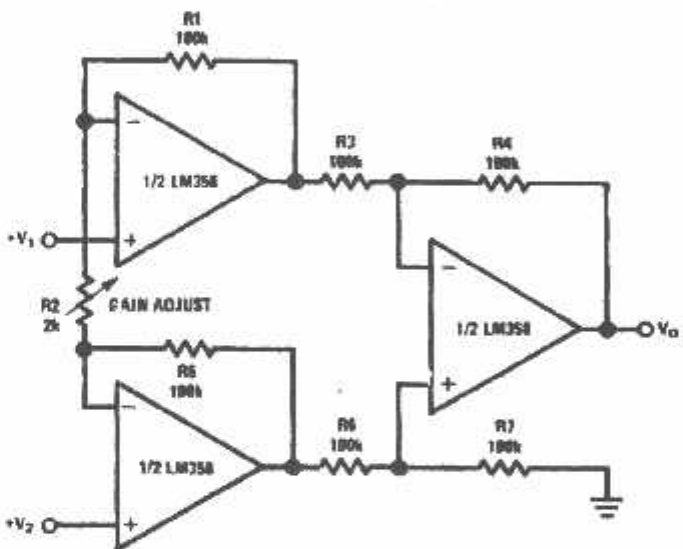
Bridge Current Amplifier



DS007787-32

For $\delta \ll 1$ and $R_f \gg R$
$$V_O = V_{REF} \left(\frac{\delta}{2} \right) \frac{R_f}{R}$$

High Input Z Adjustable-Gain
DC Instrumentation Amplifier

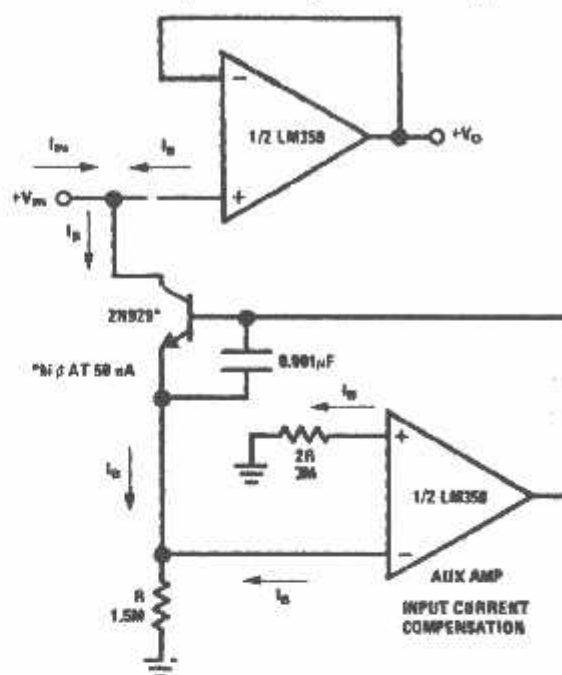


DS007787-31

If $R_1 = R_5$ & $R_3 = R_4 = R_6 = R_7$ (CMRR depends on match)
$$V_O = 1 + \frac{2R_1}{R_2} (V_2 - V_1)$$

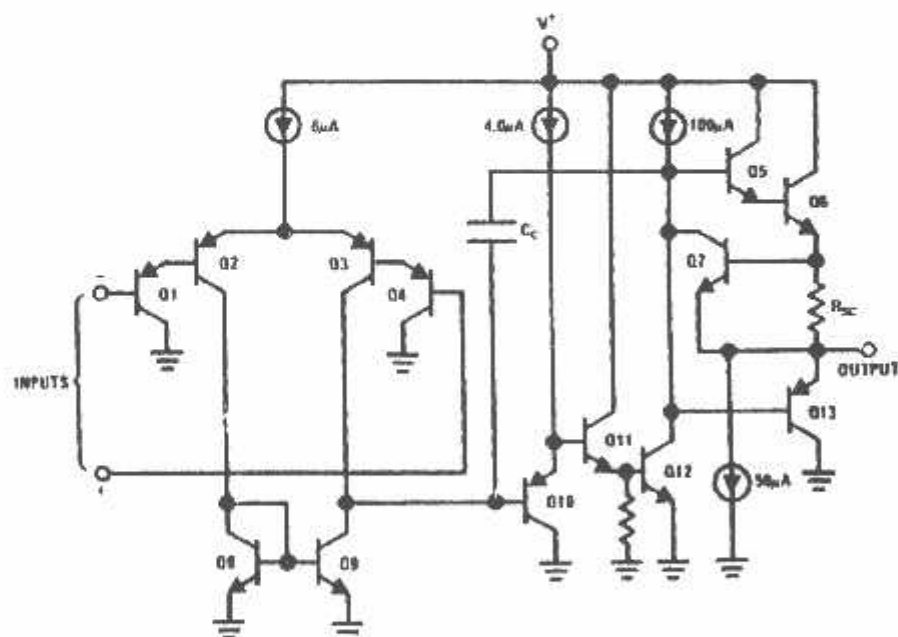
As shown $V_O = 101 (V_2 - V_1)$

Using Symmetrical Amplifiers to Reduce Input Current (General Concept)



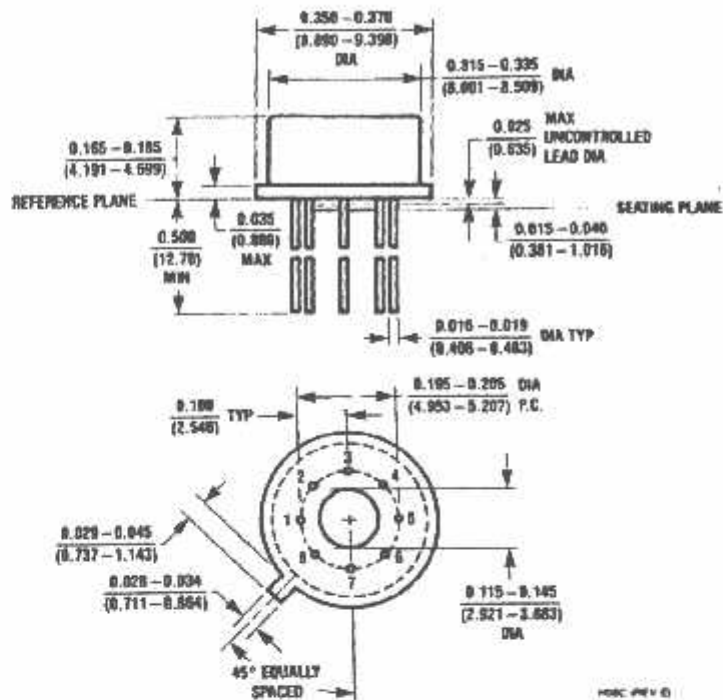
03007757-32

matic Diagram (Each Amplifier)

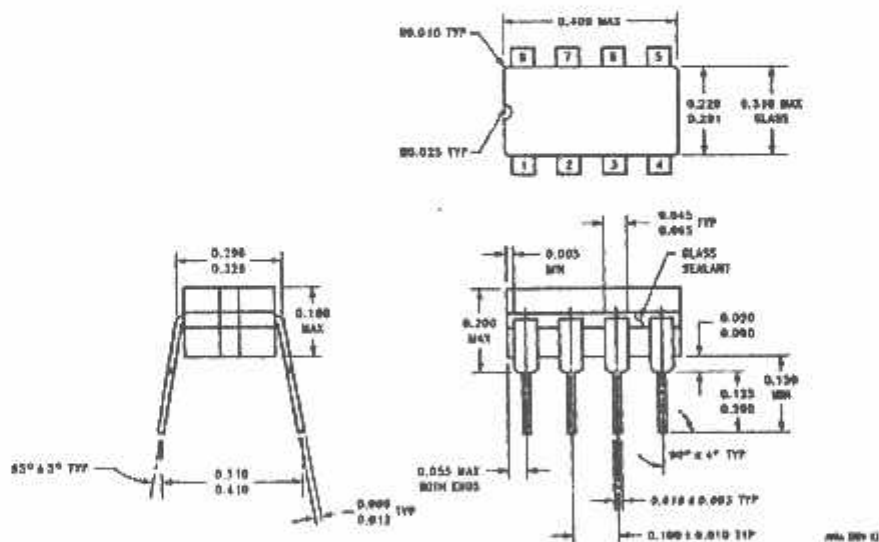


UB007114-3

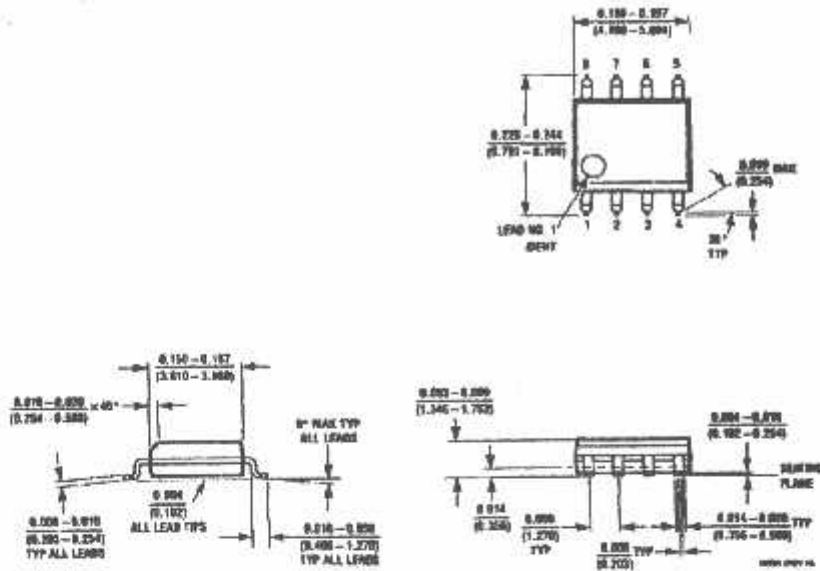
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



Metal Can Package (H)
Order Number LM158AH, LM158AH/883, LM158H,
LM158H/883, LM258H or LM358H
NS Package Number H08C

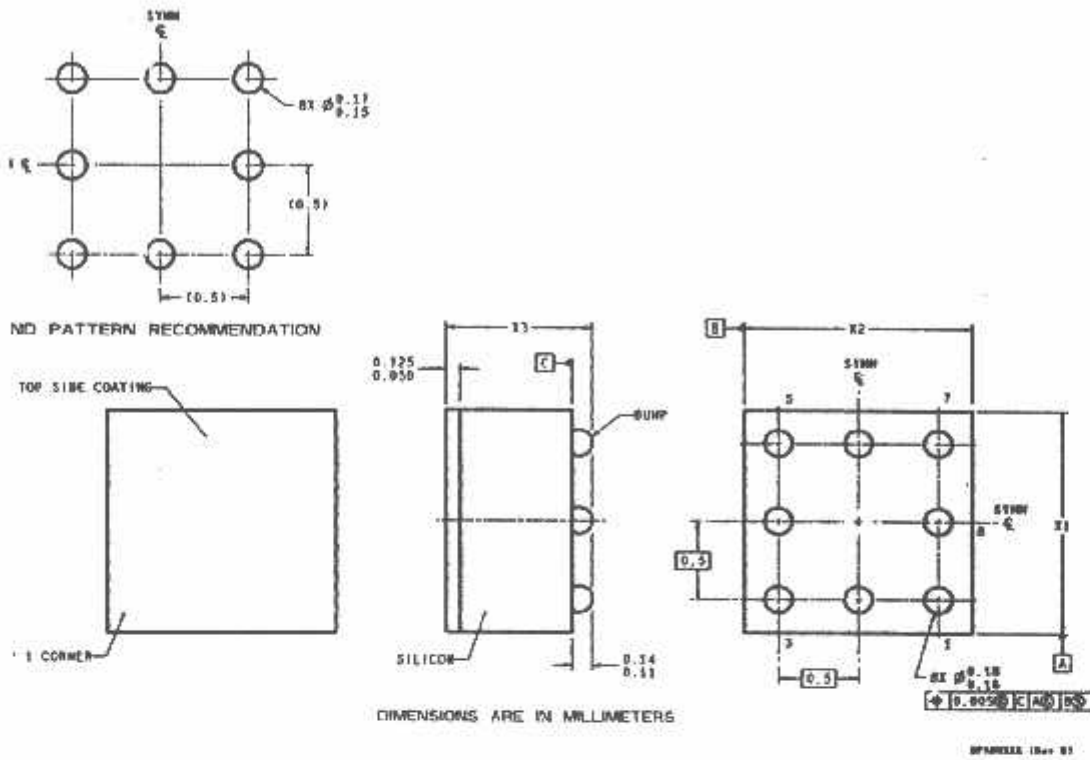


Cerdip Package (J)
Order Number LM158J, LM158J/883, LM158AJ or LM158AJ/883
NS Package Number J08A



S.O. Package (M)
Order Number LM358M, LM358AM or LM2904M
NS Package Number M08A

ical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

Y COATING

37Pb EUTECTIC BUMP

RECOMMEND NON-SOLDER MASK DEFINED LANDING PAD.

ORIENTATION IS ESTABLISHED BY LOWER LEFT CORNER WITH RESPECT TO TEXT ORIENTATION REMAINING PINS ARE RED COUNTERCLOCKWISE.

DRAWING NUMBER REPRESENTS PACKAGE SIZE VARIATION WHERE X_1 IS PACKAGE WIDTH, X_2 IS PACKAGE LENGTH AND X_3 IS PACKAGE HEIGHT.

REFERENCE JEDEC REGISTRATION MO-211, VARIATION BC.

8-Bump micro SMD

NS Package Number BPA08AAB

$X_1 = 1.285$ $X_2 = 1.285$ $X_3 = 0.850$

Notes

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

 National Semiconductor
Corporation
Americas
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com
www.national.com

National Semiconductor
Europe
Fax: +49 (0) 180-530 85 88
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9506 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Response Group
Tel: 65-2544488
Fax: 65-2504488
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor
Japan Ltd.
Tel: 81-3-5838-7580
Fax: 81-3-5838-7587

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

2.1.4 Rangkaian I²C PCF8591 8-bit ADC

PCF8591 adalah suatu chip tunggal buatan Philips Semikonduktor, dengan empat masukan analog data 8-bit CMOS dengan power supply rendah, satu keluaran analog dan suatu serial penghubung I²C Bus. Tiga alamat pin A0, A1 dan A2 digunakan untuk memprogram perangkat keras, dan biasa digunakan sebagai I²C Bus.

Spesifikasi:

- *Single power supply*
- *Operating supply voltage 2.5 V to 6 V*
- *Low standby current*
- *Serial input/output via I²C-bus*
- *Address by 3 hardware address pins*
- *Sampling rate given by I²C-bus speed*
- *4 analog inputs programmable as single-ended,*
- *differential inputs*
- *Auto-incremented channel selection*
- *Analog voltage range from V_{SS} to V_{DD}*
- *On-chip track and hold circuit*
- *8-bit successive approximation A/D conversion*
- *Multiplying DAC with one analog output.*